Fortschritte der naturwissenschaftlichen Forschung

herausgegeben von

E. Abderhalden.

3. Band.

URBAN & SCHWARZENBERG





FORTSCHRITTE

DER

NATURWISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG.

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. DR. E. ABDERHALDEN,
BERLIN.

DRITTER BAND.

MIT 153 TEXTABBILDUNGEN.

URBAN & SCHWARZENBERG
BERLIN — WIEN
N., FRIEDRICHSTRASSE 105b — I., MAXIMILIANSTRASSE 4
1911.

Inhaltsverzeichnis.

Neuere Forschungen auf dem Gebiete der atmosphärischen Physik.

Von **Alfred Wegener**, Marburg a. d. L.

1. Ergebnisse der Aerologie.

Es sind gegenwärtig gerade 20 Jahre verflossen, seitdem der modernste Zweig der meteorologischen Wissenschaft, die Aerologie, begründet wurde. Ihr Name ist sogar erst ganz vor kurzem geprägt worden. Während man früher auf Beobachtungen am Erdboden angewiesen war, geht dieser neue Forschungszweig darauf aus, Beobachtungen aus den höheren Luftschichten zu gewinnen, und das Ziel, das hier angestrebt wird, ist eine dauernde Überwachung des ganzen Profils der Atmosphäre.

Wie es bei der Einführung einer umfassenden neuen Forschungsmethode stets zu gehen pflegt, so hat auch hier die Meteorologie in den ersten Lebensjahren ihrer jungen Tochterwissenschaft eine Fülle von wichtigen Entdeckungen zu registrieren gehabt, welche in dem Maße zutage gefördert wurden, wie die Technik der Methode ihren Aufschwung nahm. Heute fließen die Wogen schon ruhiger, man beginnt bereits die natürlichen Grenzen dieser Entwicklung zu erkennen, und wenn es auch noch viele Fragen gibt, die wir die beste Aussicht haben, mit der neuen Methode lösen zu können, so sind doch solche gänzlich unerwarteten, vorher nicht geahnten Entdeckungen, wie sie bisher gemacht wurden, wohl nur noch in geringer Zahl zu erwarten.

Insofern wäre also der gegenwärtige Zeitpunkt für einen Rückblick auf das bisher Geleistete ein sehr geeigneter. Andrerseits gilt aber auch hier die allgemeine Entwicklungsregel, daß die theoretische Verarbeitung stets nachhinkt, und so kommt es, daß wir noch heute über das Wesen und die Ursache ganz fundamentaler Erscheinungen fast völlig im Dunkeln tappen.

Bevor wir den Versuch machen, einen Überblick über die Ergebnisse dieser Forschungen zu geben, mögen noch einige Worte über die Methode oder eigentlich die Method e n Platz finden.[1])

---

[1]) Eine eingehende Darstellung dieser Methoden und ihrer geschichtlichen Entwicklung wird *Assmann* in einer gegenwärtig in Vorbereitung befindlichen zusammenfassenden Darstellung der Aerologie in der Sammlung „Die Wissenschaft“ (bei Vieweg, Braunschweig) geben.

Auf drei verschiedene Weisen läßt es sich nämlich erreichen, daß wir unsere vollständige meteorologische Station in höhere Schichten der Atmosphäre hinauf verlegen, ohne, wie bei den Bergobservatorien, doch noch am Boden zu kleben. Diese drei Methoden sind die des bemannten Freiballons, ferner die der Fesselaufstiege mit Registrierinstrumenten (Drachen und Fesselballone), und drittens die der kleinen, frei aufgelassenen Ballone mit Registrierinstrumenten, welche nach dem Herabfallen vom Publikum aufgefunden und zurückgesandt werden (hierfür werden jetzt überall die *Assmann*schen Gummiballone benutzt, die sich beim Aufsteigen immer mehr ausdehnen und in der größten Höhe schließlich platzen).

Die älteste, weil nächstliegende Methode war die, bei welcher der Beobachter sich mit seinem ganzen Instrumentarium an Bord eines Freiballons begibt und nun oben seine Ablesungen selber vornimmt. Daher wurde auch die erste größere Reihe von wissenschaftlich wertvollen Beobachtungen im Freiballon erhalten; es sind dies die von *Assmann* ins Werk gesetzten 65 Berliner Ballonfahrten, bei denen die Lufttemperatur zum ersten Mal mit dem gegen die äußerst intensive Strahlung in der Höhe geschützten *Assmann*schen Aspirations-Psychrometer gemessen wurde, so daß damit endlich die durch Strahlung stark gefälschten Angaben des Engländers *Glaisher,* die bereits in die Lehrbücher übergegangen waren, als falsch erkannt wurden, während andrerseits nachgewiesen wurde, daß das Mißtrauen, welches man der damals im Aufkommen begriffenen dritten Methode der Registrierballone entgegenbrachte, ein unberechtigtes war. Die Ergebnisse dieser 65 Fahrten sind von *Assmann* und *Berson* im Jahre 1900 herausgegeben worden und bildeten lange Zeit ein Werk von fundamentaler Bedeutung.[1])

Wie im folgenden noch hervorgehoben werden wird, besitzen die verschiedenen Methoden auch verschiedene Meßbereiche in bezug auf die Höhe. Der höchste Aufstieg im Freiballon wurde am 31. Juli 1901 von *Berson* und *Süring* unternommen und führte bis zur Höhe von 10.800 *m*, welche wohl die äußerste Grenze darstellt, die dem Menschen überhaupt erreichbar ist.

Heute werden nur noch selten Freiballonaufstiege zu dem Zwecke unternommen, eine „meteorologische Station" in größere Höhe hinauf zu verlegen; dazu dienen jetzt die im folgenden zu besprechenden Methoden, welche mit geringerem Kostenaufwande verbunden sind. Dagegen bildet der Freiballon nach wie vor die einzige Methode für alle Spezialuntersuchungen, weil es für diese meist keine selbstregistrierenden Instrumente gibt.[2])

---

[1]) *R. Assmann* und *A. Berson,* Wissenschaftliche Luftfahrten. Braunschweig 1900.

[2]) Von wissenschaftlichen Beobachtungen, welche auch gegenwärtig noch im Freiballon angestellt werden, sind namentlich die luftelektrischen zu nennen; ferner die Messung der Sonnenstrahlung, der Reflexionsfähigkeit der Wolken, der Polarisation des Himmelslichtes, der Spiegelungs- und Beugungserscheinungen des Lichtes in den Wolkenteilchen, Messungen des Staubgehaltes der Luft u. a.; ferner physiologische Beobachtungen (Bergkrankheit usw.); mehr technischer Art sind die Versuche zur astronomischen und zur magnetischen Ortsbestimmung im Ballon, sowie die der Funkentelegraphie. Alle diese und noch andere Untersuchungen werden gegenwärtig eifrig mit Hilfe des Freiballons betrieben.

Die zweite Methode, die der Drachen und Fesselballone mit Registrierinstrumenten, ist naturgemäß viel weniger kostspielig; sobald man daher an die heute schon an verschiedenen Stellen verwirklichte Aufgabe herantrat, jeden Tag oder doch an jedem günstigen Tage regelmäßig derartige Sondierungen vorzunehmen, mußte man zu dieser zweiten Methode greifen, die allerdings einen etwas geringeren Höhenbereich umfaßt. Der höchste bisherige Drachenaufstieg reicht nämlich nur bis etwa 7000 *m* (im Jahre 1908 am Mount Weather-Observatorium in Amerika geglückt) und die große Mehrzahl endigt bereits unterhalb 4000 *m* Höhe.

Fig. 1.



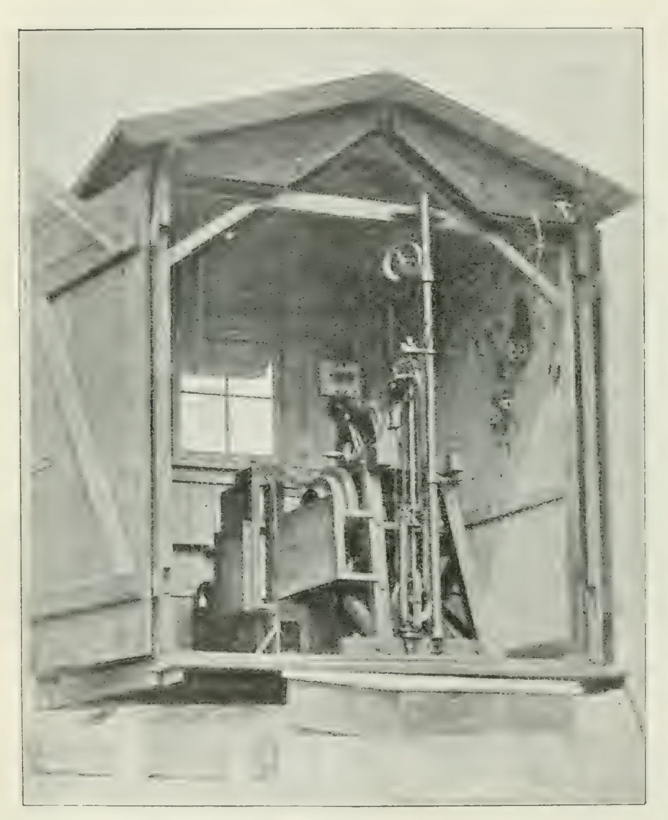
Drachenaufstieg in Lindenberg (rechts das drehbare Windenhäuschen).

Auf unserer Fig. 1 sieht man einen der hierzu verwendeten Kastendrachen, in welchem am vorderen Ende das Registrierinstrument hineingebunden wird. Der Drachen, der mit Schnüren an der Halteleine (aus Klaviersaitendraht) befestigt ist, wird gerade von dem drehbaren, die Winde enthaltenden Häuschen fortgetragen, um dann in einigem Abstande frei von dem Windschatten des Häuschens aufgelassen zu werden. Die Einrichtungen an dem im Jahre 1905 eingeweihten Lindenberger Observatorium, von dem das Bild herrührt, sind die umfangreichsten und kostspieligsten, die es bisher gibt. Fig. 2 zeigt das Windenhäuschen (gleichfalls drehbar) der etwas primitiveren Drachenstation der Deutschen Seewarte in Hamburg. Zum Aufwinden des Drahtes ist hier wie dort ein Motor vorhanden, da die Drachen einen starken Zug ausüben; es kommt nur selten vor, daß

der Zug von 50 *kg* nicht überschritten wird. Allerdings sind dann hieran meist mehrere Drachen beteiligt, die nach und nach, etwa alle 1500 *m*, beim Auslassen des Drahtes an demselben angebracht werden und so dem obersten, dem „Apparatdrachen", ein weiteres Ansteigen ermöglichen.

Auf diese Weise werden zu höheren Aufstiegen große Materialmengen verwendet; so hatte ich während meiner Tätigkeit am Lindenberger Observatorium gelegentlich eines Aufstiegs auf 6400 *m* Höhe nicht weniger als 7 Drachen mit ca. 18 *km* Draht „draußen".

Fig. 2.



Windenhäuschen der Drachenstation der Deutschen Seewarte in Großborstel bei Hamburg.

Wenn die Drachen wegen Windstille nicht steigen, bedient man sich kleiner Fesselballone, meist von 20 m^3 Inhalt (Fig. 3), von denen gleichfalls mehrere nacheinander an dem Haltedraht befestigt werden können.

Außer bei Lindenberg und Hamburg besitzen wir in Deutschland noch eine dritte Station in Friedrichshafen, welche regelmäßige Drachenaufstiege ausführt. Diese Anzahl ist aber immer noch viel zu klein, und es wird eifrig dahin gearbeitet, sie zu vermehren. Auch außerhalb Europas gibt es bisher nur in Nordamerika (Blue Hill und Mount Weather) einige Stationen mit regelmäßigem Betrieb.

Dagegen ist diese Methode auf kürzere Zeit schon mehrfach auf Expeditionen in Anwendung gebracht worden, so von *Berson* und *Elias* im äquatorialen Afrika und vom Verfasser auf der Danmark-Expedition in Nordostgrönland.

Die dritte Methode ist, wie erwähnt, die der freifliegenden Gummiballone. Anfangs benutzte man Papierballone, was sich jedoch deswegen als ungeeignet herausgestellt hat, weil diese in der größten Höhe lange Zeit zu schwimmen pflegen. Bei den von *Assmann* eingeführten Gummiballonen wird dies durch das Platzen verhindert, nach welchem das Registrierinstrument mit Hilfe eines Fallschirms sanft herabsinkt. Diese Methode hat einen viel größeren Meßbereich als die vorangehenden. Die größte mit ihr erreichte Höhe beträgt 29 *km*, und Höhen von 26 und 27 *km* sind bereits mehrfach erzielt worden. Auch diese Methode ist namentlich wegen der hohen und noch immer steigenden Gummipreise ziemlich kostspielig, hat aber den Vorteil, daß man keiner besonderen Stationseinrichtungen wie bei den Drachenaufstiegen bedarf. Deswegen werden Gummiballonaufstiege auch an zahlreichen Stellen — wenn auch nicht häufig — ausgeführt. Dabei werden international vereinbarte Termine (eine durch *Hergesell* geschaffene Organisation) innegehalten, um auf diese Weise wenigstens für einzelne Tage ein möglichst vollständiges Material zu erhalten.

Fig. 5.



Aufstieg eines Fesselballons auf der Danmark-Expedition (Nordost-Grönland). Rechts die Winde, links ein als Motor verwendetes Automobil.

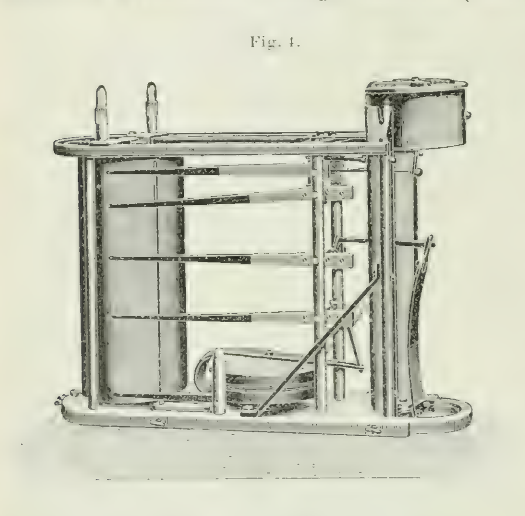
Auch diese Methode hat sich auf Expeditionen bewährt, wie z. B. bei der schon genannten Afrika-Expedition von *Berson* und *Elias*. Auch hat *Hergesell* sie auf dem Ozean bei einer großen Reihe von Fahrten in der Weise verwendet, daß er statt des Fallschirms einen zweiten, weniger stark gefüllten und darum nicht platzenden Ballon benutzt, der nachher

über dem auf dem Wasser schwimmenden Apparat steht und so dem suchenden Schiff den Weg weist.

Das Registrierinstrument, das hier verwendet wird, ist dasselbe wie das bei den Drachenaufstiegen gebrauchte, nämlich ein sogenannter Meteorograph, der eine vollständige kleine meteorologische Station darstellt, wo alle Instrumente, Barometer, Thermometer, Hygrometer und Anemometer, auf ein und derselben Registriertrommel, die durch ein Uhrwerk gedreht wird, ihre Kurven aufzeichnen.

Fig. 4 zeigt einen derartigen Meteorographen nach *Kleinschmidt*. Die oberste Feder steht in Verbindung mit dem ganz oben rechts in dem vertikalen Röhrenansatz befindlichen Windrädchen und registriert die Windgeschwindigkeit; die zweite Feder registriert die Feuchtigkeit und wird durch ein Haarbündel bewegt, welches (in der Figur nicht sichtbar) vertikal im Innern der halben Röhre angebracht ist. Die dritte Feder steht durch einfache Hebelübertragung mit der etwas gekrümmten Doppelmetall-Lamelle (rechts unten) in Verbindung, die aus zwei aufeinander gelöteten Metallen von verschiedenem Ausdehnungskoeffizienten besteht und sich daher je nach der Temperatur mehr oder weniger krümmt. Die unterste Feder endlich schreibt die Luftdruckkurve und wird bewegt durch die bei abnehmendem Luftdruck elastisch sich ausdehnenden beiden luftleeren Blechdosen, die unten in der Mitte der Figur sichtbar sind. Wie die auf diese Weise erhaltenen Registrierungen aussehen, soll weiter unten gezeigt werden.

Fig. 4.



Meteorograph nach *Kleinschmidt*.

Zu diesen drei vollständigen Methoden käme nun noch eine unvollständige, welche nur die Windverhältnisse in der Höhe zu ermitteln gestattet, nämlich die der Pilotballone. Namentlich nachdem *Hergesell* gezeigt hatte, daß die vertikale Geschwindigkeit dieser frei aufsteigenden kleinen Gummiballone konstant bleibt und sich vorher aus ihrem Auftrieb berechnen läßt, so daß man zur genauen räumlichen Bahnbestimmung nur von e i n e m Punkt aus zu beobachten braucht, und nachdem *de Quervain* ein bequemes Winkelmeßinstrument zum Verfolgen der Ballone gebaut hatte, kam diese schon früher von *Kremser* vorgeschlagene Methode sehr in Aufnahme. In erster Linie dient sie allerdings den praktischen Zwecken der Luftschiffahrt, um nämlich die Windverhältnisse in der Höhe schon vor dem Auf-

stieg des Luftschiffes zu erfahren, doch wird sie auch zu rein wissenschaftlichen Zwecken wegen ihrer Billigkeit überall da angewendet, wo es sich in erster Linie um die Feststellung der Windverhältnisse handelt, z. B. bei der Erforschung des Passats und des darüber wehenden Antipassats.

Wir wollen nun im folgenden versuchen, einen flüchtigen Überblick über die Ergebnisse dieser neuen Forschungsrichtung zu geben.

Während die Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe sofort richtig gedeutet, ja sogar zuerst theoretisch postuliert und daraufhin erst durch die Beobachtung nachgewiesen wurde, konnte man die Tatsache, daß auch die Lufttemperatur mit der Höhe abnimmt, nicht sogleich erklären. Dies gelang erst, als *W. Thomson* gezeigt hatte, daß eine von der Erde emporsteigende Luftmenge vermöge der hierbei auftretenden Expansion eine immer niedrigere Temperatur annehmen muß, wenn sie dabei nicht etwa von der Seite her erwärmt wird. Es läßt sich aus den Gasgesetzen leicht nachweisen, daß diese Abkühlung fast genau 1° pro 100 *m* Erhebung betragen muß. Das Umgekehrte, nämlich eine Erwärmung, geschieht beim Herabsinken. Da nun fortwährend solche vertikalen Luftströme vorhanden sind, so schloß *Thomson*, daß die Atmosphäre in idealem Zustande nicht, wie man früher geglaubt hatte, überall dieselbe Temperatur aufweisen müsse, sondern daß die Temperatur in ihr pro 100 *m* Erhebung um 1° abnehmen müsse. Er nannte diesen Zustand das konvektive Gleichgewicht der Atmosphäre, weil es nämlich bei einer vollkommenen vertikalen Durchmischung (Konvektion) resultieren würde. Diese Ideen wurden dann von *Helmholtz* weitergeführt und sind namentlich durch *Bezold* in die Meteorologie eingebürgert worden.

Aber wie verhalten sich hierzu die Beobachtungen? Bereits die erste größere Reihe exakter Messungen, die vorerwähnten 65 Berliner Ballonfahrten, noch mehr aber die Tausende von Drachenaufstiegen und Registrierballonaufstiegen, die später ausgeführt wurden, zeigen auf das deutlichste, daß diese theoretische Temperaturabnahme in Wahrheit auch nicht entfernt erfüllt ist. In meiner „Thermodynamik der Atmosphäre“[1]) habe ich die wichtigsten bisher vorliegenden Beobachtungsreihen, nämlich für die untersten 3000 *m* die Drachenbeobachtungen von Lindenberg und Hamburg, für die höheren Schichten die internationalen Registrierballonaufstiege (die durch *Wagner* bereits eine sehr sorgfältige Sonderbehandlung erfahren haben) zu einer mittleren Temperaturabnahme mit der Höhe vereinigt, welche durch die folgende Fig. 5 dargestellt wird. Die Höhe ist hier nach oben, die Temperatur nach rechts wachsend abgetragen, so daß die Kurve ohne weiteres die mittlere Temperatur in jeder Höhe abzulesen gestattet. Auf das sehr merkwürdige Umbiegen dieser Kurve bei etwa 11 *km* Höhe wird später ausführlich eingegangen werden.

Der darunter liegende Teil der Kurve, der für uns zunächst in Frage kommt, besitzt eine schwache S-förmige Krümmung, die dadurch zustande

---

[1]) Leipzig 1911, bei Joh. Ambrosius Barth.

kommt, daß das Temperaturgefälle im allgemeinen nach dem Erdboden zu immer schwächer wird, in der untersten Luftschicht jedoch wieder etwas zunimmt. Über diese letztere Verstärkung des Gefälles in den erdnahen Schichten haben sich manche Diskussionen entsponnen, teils über ihre Realität, teils über ihre Ursache. Heute kann an ihrer Realität wohl nicht mehr gezweifelt werden, und als Ursache ist man geneigt, die Reibung der Luft am Erdboden und die dadurch zwangsweise erzeugte vertikale Durchmischung dieser Schichten zu betrachten.

Fig. 5.

Mittlere Zustandskurve der Atmosphäre.

Mit Hinblick auf das oben erwähnte „konvektive Gleichgewicht“ interessiert uns aber vor allem die Neigung dieser „Zustands“-Kurve als Ganzes. Da das Verhältnis der Maßstäbe in der Figur gerade so gewählt ist, daß 100 *m* auf der Höhenskala ebenso groß sind wie 1° auf der Temperaturskala, so sieht man, daß dem oben erwähnten konvektiven Gleichgewicht von *Thomson* eine Gerade entsprechen würde, die unter 45° geneigt ist. Die wirkliche Zustandskurve ist viel steiler, oder mit anderen Worten, die wirkliche Temperaturabnahme ist viel geringer.

Anfangs glaubte man, daß dieser Widerspruch zwischen Beobachtung und Theorie sich lösen würde, wenn man bei letzterer den Einfluß der Wolkenbildung berücksichtigte. Die *Thomson*sche Betrachtung gilt nämlich eigentlich nur für herabsinkende Luft; beim Aufsteigen dagegen kühlt sich die Luft nur so lange nach dem *Thomson*schen Gesetze ab, bis der „Taupunkt“ erreicht ist, und die Wolkenbildung beginnt; nunmehr wird für jede weiteren 100 *m* ein gewisses Quantum Wasser in tropfbar-flüssiger Form als Wolke ausgeschieden, und damit wird eine gewisse Wärmemenge frei (die „latente Verdampfungswärme“), so daß die weitere Abnahme der Temperatur zwar nicht verhindert, aber doch verringert wird. Durch eine große Zahl sehr sorgfältiger Untersuchungen von *Hann*, *Guldberg* und

Mohn, Hertz, Neuhoff u. a. ist der quantitative Betrag dieses Einflusses sehr genau bestimmt worden. In der Hauptwolkenzone würde die Temperaturabnahme in aufsteigender Luft hiernach nur noch etwa 0·6° betragen, in größeren Höhen aber sich immer mehr dem Werte 1·0° pro 100 *m* nähern. Wollen wir dies Resultat auf den mittleren Zustand der Atmosphäre anwenden, so müssen wir berücksichtigen, daß im Durchschnitt immer ebenso viel Luft herabsinken muß (ohne Wolkenbildung), wie aufsteigt, so daß im Mittel in der Hauptwolkenzone $\frac{0·6 + 1·0}{2} = 0·8^0$ pro 100 *m* zu erwarten wären, in größeren Höhen aber wieder 0·9 bis 1·0° pro 100 *m*.

Obwohl der Sinn dieser Verbesserung nach der richtigen Seite geht, so ist sie doch gänzlich unzureichend, die Beobachtungen zu erklären, denn diese geben statt 0·8 nur etwa 0·5° pro 100 *m*.

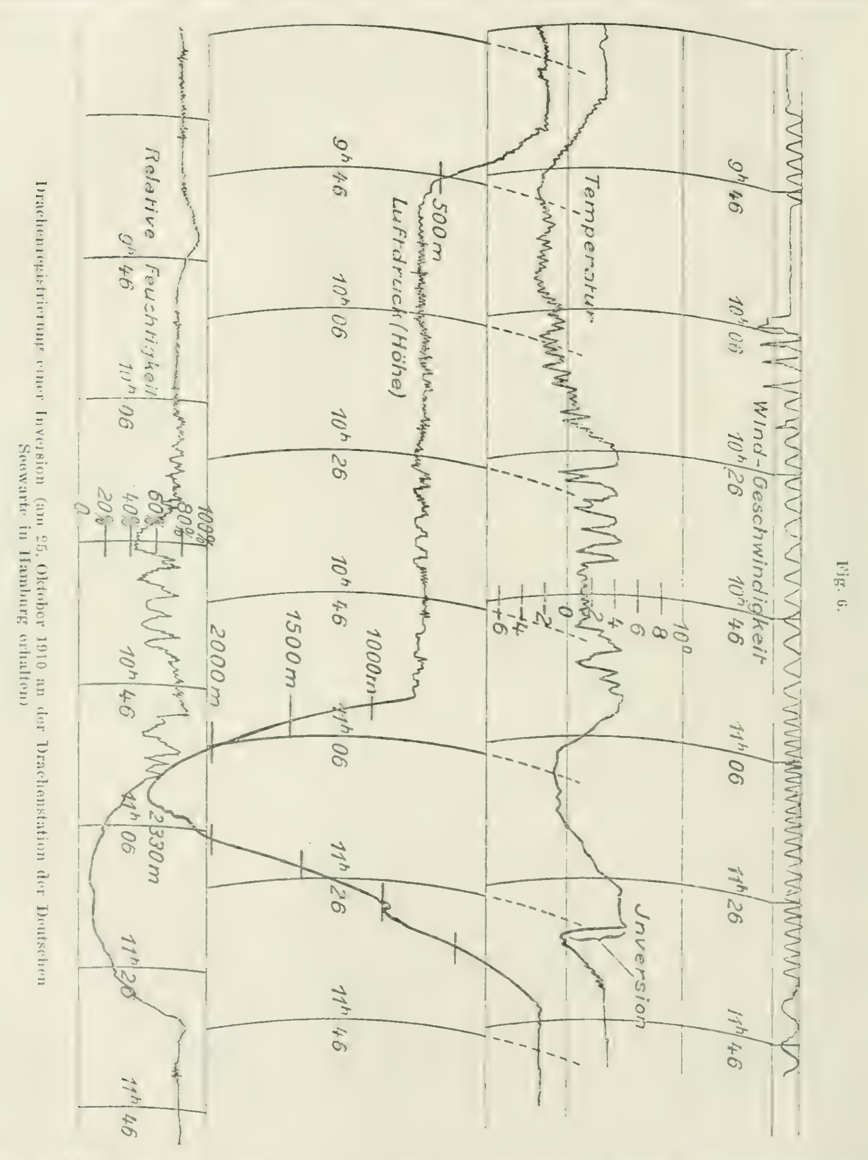
Es hat sich nun gezeigt — und damit kommen wir zu einer der großen Entdeckungen, welche die Aerologie aufzuweisen hat — daß die Ursache dieser allgemeinen Schwächung des Temperaturgefälles in dem Auftreten von eigentümlichen Schichtgrenzen oder Diskontinuitätsflächen zu suchen ist. Diese Erscheinung zeigt sich meist in der Weise, daß der Drachen beim Passieren einer solchen horizontalen Schichtgrenze von unten nach oben eine plötzliche Temperaturzunahme, eine ebenso plötzliche Änderung der Windgeschwindigkeit und starken Fall der relativen Feuchtigkeit registriert. Man hat für diese Diskontinuitätsflächen den Namen „Inversionen", d. i. Umkehrungen des Temperaturgefälles, eingeführt, da man in den häufigen Fällen, wo dieselben etwas verwaschen sind, innerhalb eines kurzen Höhenintervalles in der Tat eine Umkehrung des normalen Temperaturgefälles, d. h. eine Temperaturzunahme mit der Höhe, beobachtete. Diese Inversionen pflegen eine große horizontale Erstreckung zu haben und stellen offenbar die Grenzfläche zwischen zwei verschieden temperierten, verschieden feuchten und verschieden bewegten Luftschichten dar. Jede Oberfläche eines „Wolkenmeeres" repräsentiert eine derartige Schichtgrenze; löst das Wolkenmeer sich aber auf, so bleibt die Schichtgrenze, wenn auch unsichtbar, erhalten, den Registrierinstrumenten nach wie vor durch die sprunghafte Änderung der genannten Elemente bemerkbar. Die Größe des Temperatursprunges variiert zwischen 0 und etwa 20°, am häufigsten dürfte etwa 2° vorkommen. Oft sind sechs oder noch mehr solcher Sprungflächen in den untersten 10 Höhenkilometern anzutreffen; da ihre Höhenlage und ihr ganzes Auftreten starkem Wechsel unterworfen ist, so verteilt sich ihr Einfluß auf das mittlere Temperaturgefälle über diesen ganzen Höhenbereich und ruft so die allgemeine Schwächung desselben hervor.

Die beifolgende Fig. 6 zeigt eine Drachenregistrierung, bei welcher der Drachen eine solche Inversion passiert hat.

Ganz oben sieht man die Registrierung der Windgeschwindigkeit. Je enger die Zacken der Registrierung stehen, um so größer ist die Geschwindigkeit. Die darunter stehende Kurve gibt die Temperatur, und die

folgende den Luftdruck, welcher hier lediglich zur Höhenbestimmung dient und unmittelbar ein allerdings umgekehrtes Bild von den Höhen liefert, in denen sich das Registrierinstrument befunden hat. Das horizontale Anfangsstück am linken Ende der Kurve entspricht den Vorbereitungen

Fig. 6.



Drachenregistrierung einer Inversion (am 25. Oktober 1910 an der Drachenstation der Deutschen Seewarte in Hamburg erhalten)

des Aufstieges, während welcher das Instrument sich am Erdboden befand. Der darauf folgende steile Abfall wird gebildet durch den Aufstieg des Drachens bis zur Höhe von etwa 600 *m*. In dieser Höhe hält sich dann der Drachen stundenlang mit nur geringen Schwankungen. Hier lag näm-

lich eine Schichtgrenze, oberhalb deren die Windgeschwindigkeit geringer war und nicht mehr ausreichte, um den Drachen weiter steigen zu lassen. Erst um 11 Uhr, als mit dem Einholen des Drahtes begonnen wurde, segelte der Drachen infolge dieser künstlichen Windverstärkung an, wie aus dem nun folgenden starken Abfall der Druckkurve zu ersehen ist, und erreichte auf diese Weise am tiefsten Punkt der Druckkurve die Höhe von 2330 *m*.

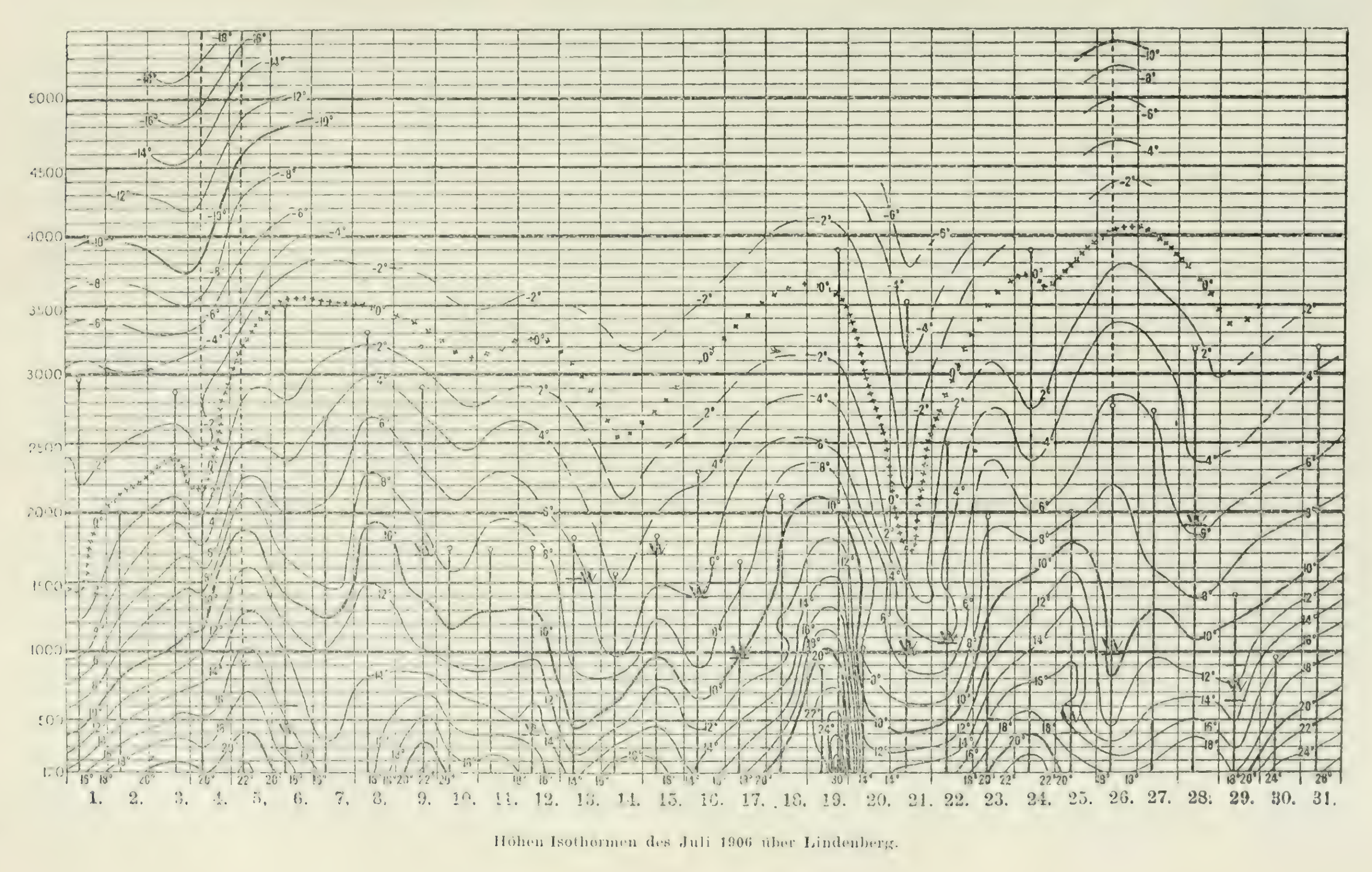
Betrachtet man die Temperaturkurve, welche ja im allgemeinen wegen der Abnahme der Temperatur mit der Höhe der Druckkurve parallel zu laufen pflegt, so erkennt man hier an der genannten Schichtgrenze einen Temperatursprung von etwa 5°, welcher besonders schön beim Herabholen des Drachens registriert wird. Während des Aufstiegs, bei welchem der Drachen mit nur geringen Höhenschwankungen an der Schichtgrenze schwamm, sieht man eine Reihe außerordentlich starker Temperaturschwankungen aufgezeichnet, welche dadurch erzeugt wurden, daß der Drachen abwechselnd in die obere warme Schicht hineinsegelte und wieder in die untere kalte Schicht zurückfiel.

Vergleicht man hiermit endlich die ganz unten aufgezeichnete Feuchtigkeitskurve, so erkennt man leicht, daß die obere warme Schicht relativ trocken, die untere kalte relativ feucht war; die hier registrierten Schwankungen der Feuchtigkeit entsprechen in allen Einzelheiten den Schwankungen der Temperatur.

Über das Wesen und die Entstehung dieser merkwürdigen Schichtgrenzen tappen wir gegenwärtig noch fast ganz im Dunklen. Die Vermutungen, welche bisher über diesen Punkt ausgesprochen sind, sind alle noch nicht völlig befriedigend. *Köppen* hat die Ansicht geäußert, daß diese Inversionen die lamellenartig dünnen Überreste von einst mächtigen Schichten darstellen, welche sich immer mehr ausgeflacht haben. Doch ist es auch denkbar, daß die Ursache der Schichtgrenzen in Bewegungsunterschieden der Luft zu suchen ist, vermöge welcher sich Gleitflächen ausbilden. Sobald nämlich erst einmal ein solcher Bewegungsunterschied vorhanden ist, wird sich von selbst auch ein Temperatursprung einstellen, da die Luftmengen, welche nun übereinander zu liegen kommen, aus verschiedenen Gegenden herstammen. Ich habe auch darauf hingewiesen, daß die Verteilung der Wolken nach Wolkenetagen, wie man sie aus den Höhenmessungen namentlich während des internationalen Wolkenjahres ermittelt hat, auch für die Schichtgrenzen gültig sein muß, weil eben die Wolkenoberflächen derartige Schichtgrenzen repräsentieren. Indessen haben alle diese Untersuchungen noch nicht zu Resultaten geführt, welche allgemein anerkannt wären, und die Klärung dieses Problems der Inversionen bleibt daher im wesentlichen noch der Zukunft vorbehalten.

Aber auch abgesehen von dieser wichtigen Entdeckung der Inversionen haben die aerologischen Experimente mannigfaltige Aufschlüsse gebracht. Besonders lehrreich sind die graphischen Veranschaulichungen dieser Ergebnisse, wie wir sie für einen Monat (Juli 1906) nach den Lindenberger Beobachtungen in unserer Fig. 7 dargestellt sehen. Die Höhen

Fig. 7.



Höhen Isothermen des Juli 1906 über Lindenberg.

sind hierbei nach oben abgetragen, während die nach rechts fortschreitende Skala die Zeit repräsentiert: die bis zu wechselnden Höhen hinauf reichenden vertikalen Linien stellen die einzelnen Drachenaufstiege dar. Indem nun auf jeder dieser Linien die Temperatur bei jeder Höhenstufe notiert wird, und dann die Punkte gleicher Temperatur von Tag zu Tag miteinander verbunden werden, erhält man eine derartige Kurvenschar von Isothermen, wie sie in der Figur abgebildet ist.

Die 0°-Isotherme ist hierbei durch Querstrichelung besonders hervorgehoben; man erkennt, daß sie zu Beginn des Monats sich von etwa 1500 *m* bis auf 3500 zurückzog, dann nach einem schon am 14. erfolgten Vorstoß namentlich am 21. wieder tief herabkam, um später wieder in größere Höhen zurückzuweichen. Im allgemeinen verlaufen diese Isothermen mehr oder weniger parallel; namentlich zeigt sich beim Vorübergang einer barometrischen Depression sehr deutlich zunächst ein allgemeines Steigen der Isothermen, wobei auch die Temperatur am Erdboden zu steigen pflegt (wie z. B. am 18. und 19.), und darauf, sobald das Centrum vorbei ist, ein rapides Herabsinken der Isothermen in allen Höhen, einer durchgreifenden Abkühlung entsprechend. In den alleruntersten Schichten ist häufig noch der Einfluß der täglichen Erwärmung und der nächtlichen Abkühlung zu erkennen, wenn auch die Experimente im allgemeinen hierfür nicht zahlreich genug sind. Die oben besprochenen Inversionen zeigen sich meist durch ein Zurückbiegen der Isothermen, wie man es z. B. bei dem Vormittagsaufstieg am 18. in etwa 1100 *m* Höhe erkennt. — Indessen würde es zu weit führen, hier auf Einzelheiten einzugehen.

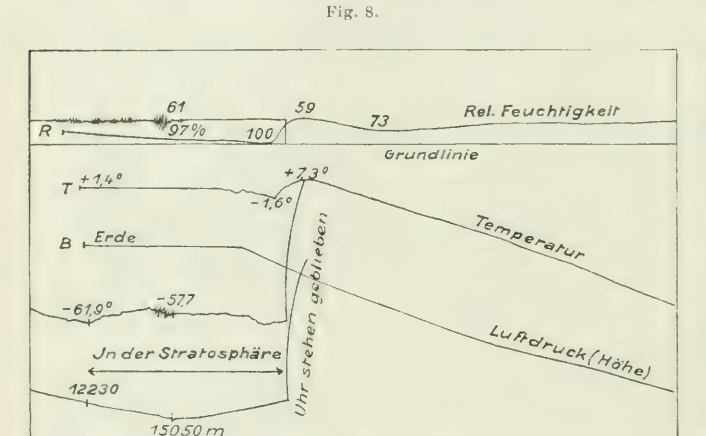
Bei der Betrachtung der mittleren Zustandskurve (Fig. 5) fällt vor allem die bereits oben kurz berührte Tatsache auf, daß die Temperaturabnahme überhaupt bei etwa 11 *km* Höhe vollständig aufhört, und die darüberliegenden Schichten alle die gleiche Temperatur, im Mittel etwa — 55° C. aufweisen. Noch das erwähnte große Ballonwerk, das im Jahre 1900 erschien, enthält keine Andeutung von dieser fundamentalen Schichtgrenze unserer Atmosphäre. Erst im Jahre 1902 wurde gleichzeitig von *Teisserenc de Bort* in Paris und *Assmann* in Berlin diese Entdeckung mit Hilfe der Registrierballone gemacht. Nach *Teisserenc de Borts* Vorschlag bezeichnet man den unteren Teil der Atmosphäre, innerhalb dessen die Temperatur mit der Höhe abnimmt, als Troposphäre und die darüber liegenden Schichten als Stratosphäre.

Die folgende Fig. 8 zeigt die Registrierung eines Gummiballons, der bis in diese Stratosphäre vordrang. Registriert wurde die relative Feuchtigkeit, Temperatur und Luftdruck. Man erkennt wieder nach der anfänglichen Registrierung am Erdboden den Aufstieg des Ballons an dem Sinken der Luftdruckkurve. Das Thermometer registriert kurz darauf, ungefähr 1000 *m* über dem Erdboden, eine der besprochenen Inversionen, welcher auch hier ein starker Fall der relativen Feuchtigkeit entspricht: darauf sinkt die Temperatur außerordentlich gleichförmig mit zunehmender Höhe, bis sie bei 12.230 *m* — 61·9° erreicht. In dieser Höhe wurde die Grenze der

Stratosphäre angetroffen. Hier hört die Temperaturabnahme auf, und bis zur Maximalhöhe von 15.050 *m* erkennt man sogar einen geringen Anstieg auf − 57·7°. Bei dem darauffolgenden Herabsinken des Instrumentes ist die Uhr desselben stehen geblieben, worauf das scheinbar plötzliche Zurückschnellen der Federn auf ihren Ausgangswert zurückzuführen ist.

Bis zur Höhe von 29 *km* — soweit haben diese Experimente bisher geführt — hat man dieselben Verhältnisse unverändert vorgefunden, und wir haben Grund zu der Annahme, daß auch die noch nicht erreichten Schichten oberhalb dieser Höhe keine wesentliche Änderung der Temperatur mehr zeigen werden. Man kann nämlich leicht einsehen, daß eine so breite Schicht konstanter Temperatur, die mindestens von 11 bis 29 *km* Höhe reicht, allen aufsteigenden Luftströmen ein Ende setzen muß, und daher von der vertikalen Durchmischung, welche zu einer Temperaturabnahme mit der Höhe führt, ausgeschlossen sein muß; denn nach dem *Thomson*schen Gesetz müßte man die Luft bei 11 *km* Höhe (wo ja in Wahrheit Temperaturen zwischen — 50 und — 60° herrschen) auf + 180° erhitzen, damit sie die darüberliegenden isothermen Schichten durchsteigen und bei 29 *km* ins Gleichgewicht kommen sollte!

Fig. 8.



Registrierung eines in die Stratosphäre eindringenden Gummiballons (aufgestiegen am 1. Dezember 1910 am Aeronaut. Obs. zu Lindenberg.

Durch die Untersuchungen von *Gold* und namentlich *Humphreys*, deren Durchführung in voller Strenge allerdings noch nicht geglückt ist, wird es sehr wahrscheinlich gemacht, daß sich diese oberen Schichten im Zustand des Strahlungsgleichgewichts befinden, daß ihre Temperatur sich also nur bei einer Änderung der Sonnenstrahlung ändern kann. Da diese Strahlungsverhältnisse für die verschiedenen Höhen so gut wie dieselben sind, so muß auch die Temperatur überall nahezu die gleiche sein.

Man hat nicht sofort die Bedeutung dieser fundamentalen Schichtgrenze der Atmosphäre bei 11 *km* klar erkannt. Im Anfange glaubte man, daß die Luftmassen oberhalb derselben ein Glied der sogenannten Gesamtzirkulation zwischen Pol und Äquator darstellten, und daß sich das Fehlen der weiteren Temperaturabnahme auf den äquatorialen Ursprung dieser

Luftmassen zurückführen ließe. Gestützt wurde diese Vermutung, als *Hergesell* in den Tropen auch bei 15 *km* Höhe noch keine Spur dieser Schichtgrenze fand. Erst nach und nach rang sich die Überzeugung Bahn, daß dieselbe geschlossen die ganze Erde umspannt, daß aber ihre Höhe vom Pol zum Äquator sich ungefähr verdoppelt. In Pawlowsk (60° Breite) wurde sie im Mittel bei 9·6 *km* gefunden, in Berlin bzw. in München (52 bzw. 48° Breite) bei 10·7 bzw. 10·9 *km*, in Nordamerika unter nur mehr 38° bei 12 *km*, und vor kurzem ist sie durch *Berson* und *Elias* auch im äquatorialen Gebiet, nämlich über dem Viktoria-Nyanza (1° Südbreite) in der Höhe von 16—17 *km* nachgewiesen worden. Es kann gegenwärtig kaum noch ein Zweifel mehr darüber bestehen, daß diese Schichtgrenze die ganze Erde umspannt, und daß die über ihr liegenden Schichten von allen Vertikalbewegungen und also auch von der „Gesamtzirkulation", die man sich früher stets bis zur äußersten Grenze der Atmosphäre fortgesetzt dachte, ausgeschlossen sind.

Es ist von großer Bedeutung, daß es mit Hilfe dieser einen Methode gelungen ist, die Grenze der Troposphäre zu überschreiten und noch Beobachtungen aus den darüber liegenden Schichten zu gewinnen. Denn erst dies gibt uns die Gewähr dafür, daß wir mit unseren Methoden die für die Witterung in Frage kommenden Schichten auch vollständig beherrschen. Die obersten Wolken, die Cirren, liegen bei etwa 10—11 *km* Höhe, gerade am oberen Ende der Troposphäre, und alles, was wir unter dem Begriff Wetter zusammenfassen, spielt sich daher in der letzteren ab, insbesondere auch die großen atmosphärischen Wirbel, die sogenannten Zyklonen und Antizyklonen. Wir sind auf diese Weise zu der Hoffnung berechtigt, daß es mit Hilfe dieser Forschungen, wenn auch wohl erst nach langer mühseliger Arbeit, gelingen wird, den wahren Sachverhalt bei den beiden großen Grundphänomenen der Meteorologie, nämlich der das Klima bedingenden Gesamtzirkulation und den das Wetter bedingenden zyklonischen Luftwirbeln, festzustellen. Erst nach einer genauen und vollständigen Aufnahme dieses Sachverhalts, von der wir gegenwärtig noch weit entfernt sind, wird es der Theorie möglich sein, mit Erfolg diese Probleme zu behandeln, an deren Schwierigkeit bisher alle noch so scharfsinnigen Untersuchungen gescheitert sind.

2. Fortschritte der Wolkenkunde.

Durch die neuerdings immer zahlreicher ausgeführten Ballonfahrten ist unsere Kenntnis von den Formen der Wolken außerordentlich erweitert worden: während der an die Erde gebannte Beobachter nur zu oft einen gleichmäßig grauen Himmel ohne jede Spur von Detail sieht, ändert sich das Bild mit einem Schlage, sobald er sich im Ballon über die Wolkenschicht erhebt. Denn nur an der Oberfläche haben diese Schichtwolken scharfe Begrenzungen, deren markante Formen dem Auge einen Anhaltspunkt geben. Durch die ständig wachsende Vertrautheit immer größerer

Kreise mit dem uns früher unzugänglichen Element, dem Luftozean, wird hier im Laufe der Zeit durch unmittelbare Anschauung, ohne komplizierte Messungen, ein Material gewonnen werden und ist teilweise schon jetzt gewonnen, welches es uns ermöglichen wird, nach und nach an Stelle des früheren „künstlichen" Systems der Wolken ein „natürliches" zu setzen, welches die Wolken nicht nur so beschreibt, wie sie von der Erde aus erscheinen, sondern wie sie sind. Dieser interessante Übergang ist gegenwärtig noch keineswegs beendet, wir stehen vielmehr noch mitten in der Entwicklung. Die folgenden Ausführungen können daher auch nur eine erste Orientierung abgeben.

Bevor wir aber auf die Formen der Wolken eingehen, müssen wir zunächst bei der prinzipiellen Frage verweilen, was denn die Ursache der Wolkenbildung überhaupt ist.

Schlägt man ältere Lehrbücher der Meteorologie auf, so findet man noch vielfach für die Wolkenbildung die von *James Hutton* im Jahre 1784 gegebene Erklärung. *Hutton* ging von der allbekannten Beobachtung aus, daß der menschliche Atem bei strenger Kälte sichtbar ist. Da diese Wolkenbildung im kleinen offenbar auf die Mischung der warmen Luft aus der Lunge mit der kalten Außenluft zurückzuführen ist, so schloß *Hutton*, daß auch die Wolkenbildung in der Atmosphäre stets durch Mischung warmer und kalter Luftmassen zustande käme. Diese Annahme, welche lange Zeit in der Meteorologie herrschend gewesen ist, wurde erst durch eine Reihe sehr sorgfältiger Untersuchungen der bedeutendsten Meteorologen, wie *Hann*, *Pernter* und *Bezold*, als unzutreffend erkannt. Es läßt sich nämlich zeigen, daß die Bedingungen für das Zustandekommen einer solchen Mischungstrübung ganz außerordentlich enge sind, und daß sie obendrein von der Art sind, wie sie in der Atmosphäre, soweit unsere Kenntnisse reichen, noch nie beobachtet wurden. So nahe also diese Erklärung lag, so mußte sie doch als unzulänglich aufgegeben werden, und es entstand aufs neue die Frage, worauf die Wolkenbildung in der Atmosphäre in Wirklichkeit zurückzuführen sei.

Es gibt jedoch noch einen anderen Vorgang, welcher gleichfalls zu einer Ausscheidung des unsichtbaren, in der Luft vorhandenen Wasserdampfes führt, nämlich die Expansion [1]; und diese Expansion tritt in der

[1]) Es sei hier an einen bekannten Vorlesungsversuch erinnert. Wenn man den Boden eines großen verschließbaren Glasgefäßes mit Wasser bedeckt, so daß nach einiger Zeit die darüber befindliche Luft in dem Glasgefäße vollkommen mit Wasserdampf gesättigt ist, d. h. so viel unsichtbaren gasförmigen Wasserdampf aufgenommen hat, wie sie bei der betreffenden Temperatur enthalten kann, so genügt eine verhältnismäßig geringe Expansion, um eine deutliche Nebelbildung in dem Glasgefäß hervorzubringen. Um die Expansion möglichst plötzlich eintreten zu lassen, führt man den Versuch praktisch in der Weise aus, daß man zunächst die Luft in dem Glasgefäß etwas komprimiert, was einfach durch Hineinblasen mittelst eines angesetzten Schlauches geschieht. Öffnet man dann einen Hahn, so daß der Luftüberschuß plötzlich entweichen kann, so tritt sogleich die Nebelbildung ein, welche man durch eine dahinter gestellte brennende Kerze auch einem größeren Auditorium sichtbar machen kann.

Atmosphäre ganz außerordentlich häufig ein, da die Luft bei jedem Aufsteigen in geringeren Luftdruck kommt und sich daher ausdehnen muß. In der Tat hat sich immer deutlicher gezeigt, daß die Wolkenbildung in der Atmosphäre fast oder sogar ganz ausschließlich in dieser Weise auf die Expansion beim Aufsteigen zurückzuführen ist.

Es ergeben sich indessen noch verschiedene Schwierigkeiten, sobald man den Vorgang der Wolkenbildung etwas schärfer ins Auge faßt. Der englische Physiker *Wilson* bemerkte nämlich, daß in sorgfältig von Staub gereinigter (durch einen Wattefilter hindurchgesogener) Luft selbst bei starker Expansion keine Wolkenbildung eintritt.

Es bildet sich dann nur ein Niederschlag an den Wänden des Gefäßes, aber im Inneren desselben bleibt die Nebelbildung aus. Wenn man allerdings die Expansion immer weiter fortsetzt, so gelangt man schließlich an eine Grenze, bei welcher nun doch wieder ein Nebel auftritt, der sehr merkwürdige physikalische Eigenschaften besitzt. Er ist nämlich elektrisch geladen, und es läßt sich zeigen, daß sich hier der Wasserdampf statt an den gewöhnlichen Kernen an den stets in der Luft vorhandenen Ionen niedergeschlagen hat. Man hat eine Zeitlang geglaubt, daß diese Kondensation an Ionen bei den Gewitterwolken der Atmosphäre eine Rolle spielt, und daß auf diese Weise die Gewitterelektrizität erzeugt würde. Indessen hat man diese Ansicht bald wieder aufgeben müssen, da man sich überzeugte, daß das Auftreten dieser merkwürdigen Wolkenbildung an so exzessive Bedingungen geknüpft ist, wie sie nach unseren Beobachtungen selbst in Gewitterwolken bei weitem nicht vorkommen, und die Gewitterelektrizität bildet daher noch heutzutage ein ungelöstes Problem.

Die Wolkenbildung in der Atmosphäre muß hiernach stets von schon vorhandenen Kernen ausgehen und müßte ausbleiben, wenn diese fehlten. Daß es sich bei diesen Kernen nicht nur um den Staub der Zimmerluft handelt, sondern daß auch die freie Atmosphäre stets mit ihnen erfüllt ist, das zeigen die Versuche von *Aitken*, welcher ein Instrument erfand, das sogar die Anzahl dieser Kerne pro Kubikzentimeter zu messen gestattet. Auch in den größten Höhen, in welchen man bisher bei Ballonfahrten mit diesem Instrument Messungen ausgeführt hat, wurden noch immer mehrere hundert Kerne pro Kubikzentimeter gefunden.

Es gibt aber eine ganze Reihe von Erscheinungen, welche direkt die Anwesenheit solcher trübenden Teilchen in der Atmosphäre dokumentieren. Bekanntlich ist ja die Durchsichtigkeit der Luft starkem Wechsel unterworfen. Man bezeichnet diese Trübungen als „Dunst“ im Gegensatz zur Wolkenbildung. Dieser Dunst ist z. B. die Ursache davon, daß der Schattenwurf der Wolken bisweilen räumlich sichtbar wird. Fig. 9 stellt diese Erscheinung dar, welche im Volksmund als „wasserziehende Sonne“ oder auch als „Dämmerungstrahlen“ bekannt ist. Wenn diese Strahlen über den Kopf des Beobachters fortgehen, so sieht er sie oberhalb der Sonne; obwohl parallel, laufen sie scheinbar in ihr zusammen. Bei besonders prächtiger Ausbildung der Erscheinung lassen sich die Strahlen über den

ganzen Himmel fort verfolgen und laufen schließlich wiederum am Gegenpunkt der Sonne in derselben Weise zusammen, wie in der Sonne selbst.

Bei Ballonfahrten hat man oft Gelegenheit, diesen Dunst auch noch in anderer Weise unmittelbar wahrzunehmen. Bekanntlich neigt die Luft sehr zur Schichtenbildung, und die verschiedenen Schichten sind sehr verschieden durchsichtig, sei es nun, daß die Anzahl der trübenden Teilchen in ihnen verschieden groß ist, oder daß die Teilchen selber in ihnen ungleiche Größen besitzen. So ist häufig die unterste, etwa bis 1500 *m* reichende Luftschicht sehr stark mit Dunst erfüllt, während die darüber liegende Schicht außerordentlich klar ist. Befindet sich nun der Ballon gerade in der Höhe der Schichtgrenze, so sieht er die Oberfläche der Dunstschicht in sehr markanter Weise als eine gerade Linie am Horizont.


Fig. 9.



Wasserziehende Sonne (Dämmerungstrahlen).

Die Fig. 10 zeigt eine Photographie dieser Erscheinung. Hier ist dieser „Dunsthorizont" so stark markiert, daß man, wenn man nicht besonders darauf aufmerksam gemacht wird, geneigt ist, ihn für den natürlichen Horizont zu halten, während er in Wahrheit 1500 *m* darüber liegt.

Es gibt aber noch eine Reihe anderer sehr bekannter, ja alltäglicher Erscheinungen, die in diesem Zusammenhang zu nennen sind, nämlich die blaue Farbe des Himmels und die rote Farbe der untergehenden Sonne.

Und damit kommen wir zu denjenigen Erscheinungen, welche den in der Physik als trübe Medien bezeichneten Stoffen eigen sind. Bekanntlich läßt sich die Vergrößerung unseres Mikroskops nicht beliebig weit treiben; selbst für das Ultramikroskop gibt es eine gewisse Größe, welche das betrachtete Objekt mindestens haben muß, wenn es noch wahrnehmbar sein soll. Diese Erscheinung ist in der Natur der Lichtwellen begründet und läßt sich

durch keinerlei optische Systeme beseitigen. Sobald nun die trübenden Teilchen diese kritische Grenze unterschreiten, so daß sie nicht mehr gesehen werden können, so bieten sie Anlaß für das Auftreten ganz charakteristischer Farben, welche eben als die Farben der trüben Medien bekannt sind. Der englische Physiker Lord *Rayleigh* hat die Theorie dieser Farbenerscheinungen mathematisch entwickelt und damit zugleich eine exakte Erklärung für die blaue Himmelsfarbe und die rote Farbe der untergehenden Sonne gegeben. Die Rechnungen sind außerordentlich kompliziert, aber das zugrunde liegende Prinzip läßt sich durch einen einfachen Vergleich der Anschauung näherbringen.



Fig. 10.



Dunsthorizont, Phot. Stuchtey.
1500 *m* über der Erde, vom Ballon (in gleicher Höhe) gesehen.

Betrachten wir einen großen Ozeandampfer in dem auf- und abwogenden Meere. Die Wellen, welche von der Luvseite gegen den Schiffsrumpf schlagen, sind nicht imstande, den gewaltigen Koloß zu heben oder zu senken, sondern prallen zurück, und in Lee bildet sich ruhiges Wasser. Betrachten wir gleichzeitig eine große Flotille kleiner Ruderboote, welche auf denselben Ozeanwogen auf- und abtanzen. Sie werden willenlos von jeder Welle hinauf und hinab geführt, und man kann das Meer so dicht mit ihnen besetzen, wie man will, die Wogen werden stets so gut wie ungehindert weiter rollen, während die Boote diese Schwingungen passiv mitmachen; in Lee einer solchen Flotille wird daher auch niemals ruhiges Wasser erzeugt werden. Man sieht sofort, wie dieser Vergleich anzuwenden ist. Die Meereswogen sind die Lichtwellen, der Ozeandampfer stellt ein trübendes Teilchen von beträchtlicher Größe, etwa ein Wolken-

element dar, welches die Lichtwellen zurückwirft und hierdurch selbst sichtbar wird, hinter sich aber einen Schatten entwirft. Die Flotille kleiner Ruderboote aber sind trübende Teilchen von so geringer Größe, daß sie von den Schwingungen der Lichtwellen als Ganzes mitgenommen werden, diese also nicht zurückwerfen, sondern passieren lassen. Sie werfen keinen Schatten und sind auch selbst nicht sichtbar, obwohl sie aus undurchsichtigem Material bestehen.

Damit wäre nun allerdings erst soviel erklärt, daß diese kleinsten Teilchen unsichtbar sind. Wie entstehen aber die Farben? Hierzu müssen wir berücksichtigen, daß die Lichtwellen verschiedene Länge haben. Das weiße Licht besteht ja aus einer Mischung sämtlicher Farben des Spektrums. Der roten Farbe entsprechen die langen Lichtwellen, der blauen die kurzen, während die übrigen Farbentöne mittlere Wellenlängen repräsentieren. Bleiben wir nun bei unserem Bilde, so hätten wir uns zu vergegenwärtigen, was geschieht, wenn wir eines der kleinen Ruderboote etwa auf einen kleinen Teich setzen, der nur Wellen von viel geringerer Länge auf seiner Oberfläche erzeugt. Hier wird sich bereits das kleine Boot so verhalten wie der große Dampfer in der Dünung des Ozeans: es wirft die Wellen zurück und erzeugt in Lee ruhiges Wasser. Wenn also die trübenden Teilchen eine entsprechende Größe besitzen, so werden sie zwar die „Ozean“-Wellen des roten Lichtes nicht mehr reflektieren können, sondern sie frei passieren lassen; dagegen werden sie die kurzen „Teich“-wellen des blauen Lichtes noch in derselben Weise zurückwerfen und hierdurch selbst sichtbar werden, wie dies für sämtliche Lichtarten bei den größeren Wolkenelementen der Fall ist. Fällt also eine Mischung sämtlicher Lichtarten, d. h. weißes Licht, auf ein derartiges trübes Medium, so verhält sich dieses gegenüber dem roten Bestandteile des Lichts wie durchsichtiges Glas, aber dem blauen Bestandteile gegenüber etwa wie Mattglas. Die Folge davon ist, daß nur rotes Licht hindurchdringt, daß aber das trübe Medium selber in blauer Farbe sichtbar wird.[1])

Die Anwendung auf die Farbe des Himmels ist nicht schwer. Von dem weißen Sonnenlicht, mit dem die Atmosphäre durchstrahlt wird, pas-

[1]) Man kann sich in sehr einfacher Weise ein trübes Medium herstellen, indem man eine Auflösung von Mastix in Weingeist unter Umrühren in ein Gefäß mit Wasser hineintropfen läßt und die Mischung am besten filtriert. Sendet man dann mittelst einer Projektionslampe einen Strahl weißen Lichtes durch dieses Glasgefäß hindurch, so kann man den hindurch gelangenden roten Bestandteil bequem auf einem Schirm auffangen, während das Gefäß selbst in intensiv bläulicher Farbe sichtbar wird. Übrigens läßt sich z. B. auch das unter dem Namen Odol bekannte Zahnwasser und ähnliche Substanzen in gleicher Weise verwenden; auch an dem aufsteigenden Rauch der Zigarre lassen sich die Farben demonstrieren: Gegen dunklen Hintergrund gesehen erscheint er blau, gegen einen hellen Hintergrund schwach rotbraun; der aus dem Munde ausgeblasene Rauch dagegen, bei dem die Tröpfchen infolge der großen relativen Feuchtigkeit im Munde erheblich gewachsen sind, erscheint fast rein weiß. — Eine praktische Anwendung haben diese Dinge in der Eisenbahntechnik gefunden, indem neuerdings überall rötliches Licht namentlich für Signale vorgezogen wird, da es bei nebligem Wetter weiter zu sehen ist als bläuliches.

siert der rote Bestandteil ungehindert, wie man besonders schön an der kupferroten Farbe erkennen kann, welche der Mond meist bei Finsternissen annimmt. Der blaue Bestandteil dagegen wird nicht hindurch gelassen, so daß der Himmel, gegen den dunklen Weltraum gesehen, intensiv blau erscheinen muß. Die Sonne selber muß unter allen Umständen einen etwas gelblichen Ton zeigen; solange sie noch hoch über dem Horizont steht, und die Weglänge der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre nur kurz ist, wird diese Färbung freilich nur sehr schwach sein. Je mehr sie sich aber dem Untergang zuneigt, um so länger wird der Weg, den die zum Auge gelangenden Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurückzulegen haben, und um so markanter tritt hier die für trübe Medien charakteristische rote Farbe auf.[1])

Woraus diese Kondensationskerne in der Atmosphäre bestehen, ist uns noch fast ganz unbekannt. Es deutet manches darauf hin, daß bei der Kondensation in fester Form, also der Bildung der Schneekristalle in der Luft, prinzipiell andere Kerne benutzt werden als bei derjenigen in flüssiger Form. Bei letzterer handelt es sich höchstwahrscheinlich um außerordentlich kleine Flüssigkeitströpfchen, nämlich wässerige Lösungen hygroskopischer Gase, wie z. B. Ammoniak oder Salpetersäure, die sich im Regenwasser nachweisen lassen. Man hätte sich hiernach vorzustellen, daß jedes Molekül dieser Gase auch schon in relativ trockener Luft eine Anzahl von Wasserdampfmolekülen um sich gesammelt hat und mit ihnen zusammen ein außerordentlich kleines Tröpfchen, das noch unsichtbare Dunsttröpfchen, bildet. Die Bildung der Schneekristalle scheint dagegen von festen Kernen auszugehen. Indessen sind unsere Vorstellungen hierüber, wie erwähnt, noch sehr unsicher.

Nach dieser kurzen Übersicht über die Erscheinungen, die mit den stets vorhandenen Kernen der Wolkenbildung zusammenhängen, sollen nun im folgenden die Formen der Wolken selber, sowie diejenigen Vorgänge besprochen werden, welche für die Entstehung derselben maßgebend sind.

Es ist nicht ohne Interesse, daß die noch heute an unseren meteorologischen Stationen üblichen Wolkenbezeichnungen im wesentlichen schon im Jahre 1803 von *Luke Howard* aufgestellt worden sind.[2]) Indessen fand die genauere Formulierung doch erst im Jahre 1886 auf Grund einer internationalen Vereinbarung — hauptsächlich auf Betreiben von *Hilde-*

---

[1]) Es sei übrigens darauf hingewiesen, daß *Rayleigh* in späterer Zeit die Hypothese aufgestellt hat, daß nicht eigentliche Fremdkörper, sondern die Luftmoleküle selber als „trübende Teilchen“ wirken und die blaue Himmelsfarbe erzeugen. Dies könnte allerdings erst in Höhen geschehen, in denen der Abstand dieser Moleküle von einander hinreichend groß geworden ist, nämlich in den Höhen zwischen etwa 20 und 70 *km*. Man hat bisher wohl noch kein abschließendes Urteil über diese Hypothese gewonnen.

[2]) On the modifications of clouds, London 1803; neu herausgegeben von *Hellmann*, Berlin 1894, als Nr. 3 der „Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus“.

brandsson und *Abercromby* — statt, nachdem eine Reihe sorgfältiger Höhenmessungen, die im Jahre 1884—1885 in Upsala angestellt worden waren, eine hinreichende Orientierung über die Höhenskala der Wolkenarten gegeben hatte, und nachdem andrerseits durch die Beobachtungen des letztgenannten Meteorologen auf seinen Weltreisen eine gewisse Konstanz der Wolkenformen unter allen geographischen Breiten gewährleistet war. Die hier vereinbarte Einteilung fand dann in dem 1896 herausgegebenen „internationalen Wolkenatlas" [1]) ihren Ausdruck, dessen Text in deutscher, englischer und französischer Sprache erschien, und in welchem auf 14 Tafeln im ganzen 28 sorgfältig ausgewählte Wolkenbilder reproduziert wurden. Die zugehörige Beschreibung unterscheidet die 10 folgenden Wolkenarten: Cirrus (ci), Cirro-Stratus (ci-str), Cirro-Cumulus (ci-cu), Alto-Cumulus (a-cu), Alto-Stratus (a-str), Strato-Cumulus (str-cu), Nimbus (ni), Cumulo-Nimbus (cu-ni), Cumulo-Stratus (cu-str). Die Reihenfolge stimmt ungefähr mit der Höhenlage überein, die größte Höhe kommt den Cirren zu.

Im selben Jahre 1896 begannen die größeren meteorologischen Observatorien auf internationalen Beschluß mit einem Beobachtungsprogramm, dessen Durchführung sehr wichtige Resultate gezeitigt hat. Es wurden nämlich in diesem „internationalen Wolkenjahr" die Höhen sämtlicher sich hierfür eignender Wolken — meist auf photogrammetrischem Wege — gemessen.

Die Diskussion dieser Beobachtungen, welche namentlich *Süring* in sehr eingehender Weise vorgenommen hat, ermöglichte vor allem eine genauere Feststellung von Wolkenetagen.

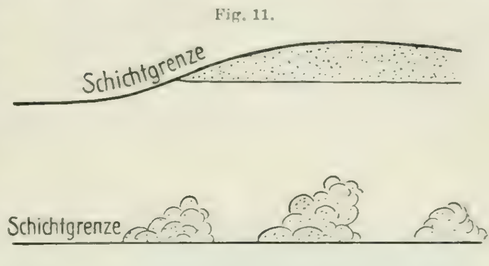
Die Wolken treten nämlich, wie man sich schon durch den unmittelbaren Anblick leicht überzeugen kann, in bestimmten Etagen auf, während die dazwischen liegenden Schichten im allgemeinen frei bleiben. Diese Höheneinteilung bildet ja auch die natürliche Basis für die Klassifikation der Wolken. *Vettin* war der erste, der die Höhen dieser Etagen zahlenmäßig zu bestimmen versuchte, doch fielen seine Messungen noch allzu ungenau aus. Die ersten einigermaßen richtigen Vorstellungen gaben die schon erwähnten Wolkenbeobachtungen in Upsala. Aber auch bei dieser sich über 1 Jahr erstreckenden Beobachtungsreihe von nur einer Station konnten die Zweifel, wieweit das Ergebnis verallgemeinerungsfähig sei, nicht beseitigt werden. So war es denn von großer Bedeutung, daß *Süring* an der Hand des viel reicheren Materials des internationalen Wolkenjahres die Frage aufnahm. Die Etagen zeigen sich an allen Stationen mehr oder weniger deutlich. Unter Zusammenfassung der Beobachtungsergebnisse der 7 Stationen Blue Hill, Bossekop, Manila, Pawlowsk, Potsdam, Upsala, Washington, leitete *Süring* sechs Etagen ab, die bei 0·6, 1·6, 4·0, 6·0, 8·0 und 10·0 *km* Höhe liegen.

Die Erscheinung dieser Wolkenetagen hängt aufs engste mit der Schichtung der Atmosphäre überhaupt zusammen. Denn wie schon im

[1]) Atlas international des Nuages. Paris, Gauthier Villars, 1896. (Eine zweite Auflage ist soeben erschienen.)

vorigen Kapitel bemerkt war, repräsentiert die Oberfläche der an einer solchen Etage liegenden Wolkendecke die Grenzfläche zwischen zwei Luftschichten, welche im allgemeinen mit ganz verschiedenen Temperaturen und Feuchtigkeiten begabt und auch verschieden bewegt sind. Da es bisher noch nicht gelungen ist, ein System in diesen Schichtgrenzen auf Grund der Drachen- und Ballonregistrierungen mit Sicherheit zu erkennen, so ist es doppelt wertvoll, daß die Wolkenbeobachtungen ein solches mit relativ großer Deutlichkeit erkennen lassen. Freilich gilt dies nur für die Mittelwerte. In den einzelnen Fällen können auch die Wolkenetagen in ganz beliebigen Höhen auftreten.

Fig. 11.



Stratus (Hebung der Schichtgrenze) und Cumulus (Durchbrechung der Schichtgrenze), schematisch.

Fig. 12.



Phot. Stuchtey.

Wolkenmeer bei 1200 *m* Höhe, aus 1500 *m* Höhe vom Ballon aus gesehen.

Schon bei der Betrachtung der oben genannten Bezeichnungen erkennt man, daß sich eine charakteristische Gegenüberstellung zweier Formen wie ein roter Faden durch die ganze Klassifikation hindurchzieht.

Es sind dies die Formen des Cumulus und des Stratus. In der Tat verhalten sich diese nicht nur in bezug auf ihre äußere Gestalt, sondern auch in bezug auf ihre Entstehung grundsätzlich verschieden. Wie durch Fig. 11 (auf voriger Seite) veranschaulicht wird, entsteht die Stratusform bei einer Hebung der Schichtgrenze, gehört also ganz der unteren Schicht an. Die Cumulusform dagegen stellt den Durchbruch einer größeren Luftmenge durch die Schichtgrenze hindurch dar.

In vielen Fällen genügt dieses schematische Bild vollkommen; doch in vielen anderen handelt es sich um Übergänge oder Kombinationen dieser



Fig. 13.



Dasselbe Wolkenmeer wie Fig. 12, aus 3000 *m* Höhe gesehen.

beiden Grundformen, so daß es manchmal nicht leicht ist, zu entscheiden, welche Bezeichnung in dem betreffenden Falle anzuwenden ist. Die beifolgenden Figuren, welche zunächst die Stratusform in verschiedener Ausbildung zeigen, können bereits ein deutliches Bild davon geben. Der Beobachtungsplatz an der Erde ist bei diesen Wolken natürlich der denkbar ungünstigste, da ihre Unterseite ohne alle scharfen Formen kontinuierlich in den darunter liegenden Dunst übergeht. Von Berggipfeln oder vom Ballon aus hat man dagegen den Anblick eines Wolkenmeeres mit markanten Formen. Die Figuren 12 und 13 stellen ein und dasselbe Wolkenmeer

dar, welches aus verschiedenen Höhen betrachtet wird. Bei der ersten befand sich der Ballon etwa 300 *m*, bei der zweiten bereits 1800 *m* oberhalb der Wolkendecke. Man erkennt namentlich an der zweiten Aufnahme, daß die Wolkenoberfläche keineswegs ganz eben ist; sie besteht vielmehr aus zahllosen eng zusammengedrängten Köpfen, die einzeln für sich durchaus die charakteristische Traubenform des Cumulus aufweisen. In der Tat fehlt diese Tendenz zur Cumulusbildung nur selten an einer Wolkenoberfläche. Bei der folgenden Fig. 14 sehen wir einen Fall

Fig. 14.



Wolkenmeer ohne Cumulus-Tendenz, vom Ballon aus gesehen.

dargestellt, bei dem fast keine Cumulusbildung vorliegt. Hier repräsentiert sich die Oberfläche in Form zahlloser kleiner und großer Rollen und Wirbel, welche offenbar auf die verschiedene Bewegung der beiden sich hier berührenden Luftschichten zurückzuführen sind. Diese Rollen haben alle dieselbe Orientierung, was ja nach ihrer Entstehung selbstverständlich ist, aber im übrigen besitzen sie die verschiedensten Größen.

Es kommt jedoch vor, daß diese kleinen Wirbel, die sich an einer solchen „Wirbelfläche" auszubilden pflegen, einen regelmäßigen Charakter annehmen, und dann entstehen reguläre Wogen. Der bekannte Physiker

Helmholtz war der erste, welcher erkannte, daß sich nicht nur an der Grenzfläche zwischen Luft und Wasser, sondern auch an derjenigen zwischen zwei verschieden warmen Luftschichten Wogen ausbilden müssen, wenn die obere Schicht sich relativ zur unteren bewegt. Diese an den atmosphärischen Schichtgrenzen auftretende Wogenbildung gibt die Erklärung für die so häufig zu beobachtenden Wogenwolken (Fig. 15). Da nämlich bei den großen Dimensionen der Luftwogen — sie sind im allgemeinen 10.000mal so groß wie die Wasserwogen — eine sehr erhebliche Höhendifferenz zwischen dem Wellenberg und dem Wellental besteht, so ist einleuchtend, daß bei einer dünnen Wolkenschicht mitunter nur die Wellenberge mit Wolken erfüllt sein werden, während die Täler frei bleiben. Die

Fig. 15.



Wogenwolken. Phot. Meteorolog. Obs. Potsdam.

Folge ist dann, daß die langgezogenen Wellenberge in Form von parallelen Wolkenstreifen sichtbar werden.

Nun gibt es aber auch noch Wellen anderer Art als diese freien Windwellen, nämlich sogenannte Hinderniswellen. Wenn ein seichter Bach über unebenen Grund strömt, so sehen wir, daß seine Oberfläche (die Schichtgrenze Wasser—Luft) deformiert wird; es bilden sich Wellenberge und -Täler aus, die meist stationär über dem hemmenden Stein stehen, während das Wasser durch sie hindurchströmt. Ganz ähnliche Stromschnellen muß es auch in der bewegten Luft geben, welche über die Unebenheiten der Erdoberfläche dahinfließt. Und es ist einleuchtend, daß die Wellenberge dieser Hinderniswogen uns bei günstigen Feuchtigkeits-

verhältnissen in derselben Weise als Wogenwolken sichtbar werden müssen, wie es bei den freien Windwogen der Fall ist. In der Tat sind bei isolierten Bergen solche stationären, von der Spitze aus nach Lee hinüberweisenden Wolkenkappen nicht selten, ja für gewisse Berge, wie den Pic von Teneriffa und den Tafelberg, geradezu typisch. Die beifolgende Fig. 16 gibt eine von *de Quervain* erhaltene Photographie einer solchen Wolke, welche sich am Matterhorn gebildet hat.

Das dem Stratus entgegengesetzte Prinzip der reinen Cumulusbildung ist besonders schön an den beiden nächsten Figuren 17 und 18 zu erkennen,



Fig. 16.



Hinderniswogenwolke über dem Matterhorn. Phot. de Quervain.

deren erste namentlich die große Regelmäßigkeit zeigt, mit der sich der Übertritt dieser einzelnen Luftmengen aus der unteren in die obere Schicht vollzieht. Die zweite dagegen, welche dieselben Wolken, jedoch von der Seite gesehen, darstellt, läßt erkennen, wie die Wolken in der anders bewegten oberen Luftschicht sämtlich nach einer Richtung hin ausgezogen werden, und dokumentiert auf diese Weise die Durchbrechung der Schichtgrenze. Beide Aufnahmen sind auf dem Meere gemacht, über welchem auch die unteren Schichten der Atmosphäre vollkommen ungestört verlaufen. Über dem Lande sieht man eine derartige Regelmäßigkeit in der Ausbildung der Cumulusköpfe meist nur in den höheren Schichten, während bei den

unteren die Unebenheiten des Bodens hier verstärkend, dort abschwächend wirken, so daß sich hier mehr vereinzelte große Cumuli bilden, die sich häufig zu Bänken zusammenschließen, während dazwischen größere Strecken ganz frei bleiben. Im Niveau des Alto-Cumulus und des Cirro-

Fig. 17.



Cumuli bei 700 *m* im Passatgebiet des Nordatlantik, Blick nach Westen.

Fig. 18.



Dieselben Cumuli, Blick nach Norden.

Cumulus sieht man dagegen auch hier häufig sehr regelmäßige Bildungen.

Außer den bisher besprochenen gestaltenden Einflüssen spielt aber noch eine andere Erscheinung eine außerordentlich große Rolle bei den

Formen der Wolken. Dies sind die Fallstreifen. Der Niederschlag, der sich in der Wolke bildet, sinkt ja vermöge seiner Schwere herab, verdampft aber in den meisten Fällen sogleich wieder, sobald er die untere Grenze der Wolke erreicht hat und in die ungesättigte Luft hineinsinkt. Wenn er aber schon gröbere Formen angenommen hat, oder namentlich, wenn er aus Schnee oder Eis besteht und daher nicht so schnell verdunsten kann, so sinkt er noch mehr oder weniger weit in die tieferen Schichten hinab, ehe er sich ganz auflöst. In den Fällen, wo er den Erdboden erreicht, sprechen wir von Regen oder Schnee. Am häufigsten wird dies letztere natürlich bei den unteren Wolken eintreten. Die höher gelegenen

Fig. 19.



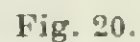
Fallstreifen, von einem Alto-Stratus herabhängend.

Wolken aber werden vermöge ihres größeren Abstandes von der Erde nicht selten Fallstreifen von der Art aufweisen, bei welchen der Niederschlag verdunstet, bevor er die Erde erreicht.

Schon bei den Wolken des 4000 *m*-Niveaus kann man bisweilen, wenn auch selten, derartige Fallstreifen bemerken (Fig. 19). Doch von den Wolken der Cirrusregionen gelangt der Niederschlag überhaupt nur außerordentlich selten zur Erde herab; in den allermeisten Fällen bildet er hier nur langgezogene Fallstreifen, welche sich schließlich auflösen, und diese Fallstreifen stellen die charakteristische Eigentümlichkeit der Cirrusformen dar. Das Problem, wie die bisweilen sehr wunderlichen Formen der Cirren räumlich aufzufassen seien, hat die meteorologische Wissenschaft lange

Zeit hindurch beschäftigt. Das Verdienst, die Rolle der Fallstreifen zum erstenmal klar erkannt und ausgesprochen zu haben, gebührt vor allem *Möller*.

Doch trotz der wertvollen Arbeiten noch zahlreicher anderer Fachleute sind wir auch heute noch über manche speziellen Gebilde im unklaren. Die beifolgenden Fig. 20 und 21 geben einige der am leichtesten zu deutenden Formen, bei denen die Mutterwolke von den eigentlichen Fallstreifen noch verhältnismäßig deutlich zu unterscheiden ist; bei der zweiten Aufnahme, die sehr steil nach oben gemacht ist, sind die Höhendifferenzen





Phot. Meteorolog. Obs. Potsdam.

Cirrus mit deutlichen Fallstreifen.

zwischen Fallstreifen und Mutterwolke nicht mehr unmittelbar wahrzunehmen; die letztere ist jedoch an ihrer detaillierten Struktur deutlich von den Fallstreifen zu unterscheiden, welche leicht an ihrem haarförmigen Aussehen kenntlich sind. Die Biegung, welche diese sämtlich in einer bestimmten Entfernung von der Mutterwolke erleiden, entspricht offenbar dem Hineinsinken in eine tiefere, anders bewegte Luftschicht.

Es kommt aber nicht selten vor, daß sich die Mutterwolke bereits längst aufgelöst hat, während die Fallstreifen nach wie vor sichtbar bleiben und in Form langgezogener Fäden den Himmel überspannen.

Es erübrigt noch, diejenigen Wolken zu besprechen, welche als Böen- oder Gewitterwolken bekannt sind. Man kann sie auffassen als große Cumuluswolken, denen aber wegen ihrer Größe ganz bestimmte Merkmale eigen sind. Fig. 22 (S. 32) stellt eine Seitenansicht einer solchen Gewitterwolke in den natürlichen Größenverhältnissen dar.

Es sei indessen bemerkt, daß es sich hier nur um eine Idealform handelt, von der die wirklichen Formen bisweilen infolge lokaler Einflüsse stark abweichen können.[1]

Es kommt auch oft vor, daß eine ganze Reihe derartiger Einzelwolken nebeneinander angeordnet sind und mit denjenigen Teilen, welche

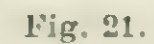


Fig. 21.



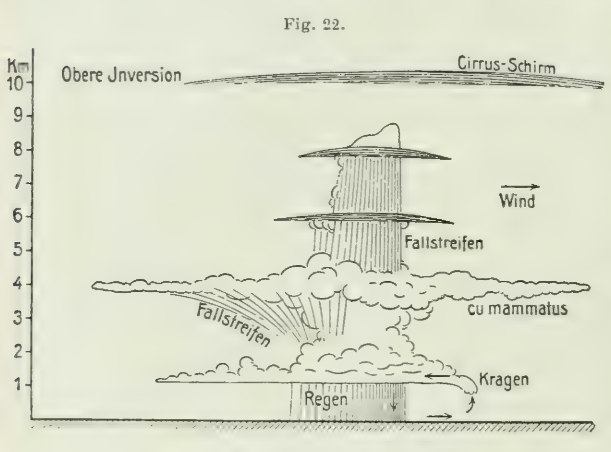
Fallstreifenstruktur des Cirrus. Phot. Meteorolog. Obs. Potsdam.

einer horizontalen Ausbreitung entsprechen, in Gestalt einer Bank zusammenhängen, aus welcher dann die einzelnen Türme (die sogenannten Hageltürme) emporragen. Die Basis dieser Gewitterwolken liegt meist nur wenig oberhalb 1000 *m*, und die hier beginnende unterste Wolkenschicht entspricht der Etage bei 1600 *m* Höhe. Die nächst höhere Etage bei 4000 *m* zeigt meist eine große Ausbreitung der Wolke. Ein großer Teil der aufsteigenden Wolkenluft kommt schon in dieser Höhe ins Gleichgewicht, und

[1] Gerade über die Gestalt der Gewitterwolken herrscht in Fachkreisen noch in manchen Punkten Uneinigkeit. Die Fig. 22 ist meiner „Thermodynamik der Atmosphäre“ entnommen.

nur der zentrale Teil bricht weiter empor. An dieser Ausbreitung im 4000 *m*-Niveau sind noch einige besondere Erscheinungen wahrzunehmen; bisweilen sind hier Fallstreifen sichtbar, welche infolge des Zusammenwirkens der Fallbewegung und der horizontalen Ausbreitung ihrer Ausgangspunkte zentripetal geneigt erscheinen (vgl. linke Seite der Figur). An anderen Stellen wieder, wo diese Fallstreifen fehlen, bildet sich eine eigentümliche Wolkenform aus, welche den Namen Cumulus mammatus besitzt und einem umgekehrten Wolkenmeere gleicht (rechts in der Figur). Diese große Ausbreitung im 4000 *m*-Niveau erstreckt sich sehr häufig so weit, daß sie dem Beobachter am Erdboden die höheren Partien der Wolke vollständig verdeckt. Dies ist z. B. anscheinend bei den Potsdamer Beobachtungen im internationalen Wolkenjahr der Fall gewesen, wo sich als mittlere Höhe der Gewitterwolken 4000 *m* ergab, während man z. B. in Blue Hill 9000 *m* erhielt, also offenbar den Kopf des Hagelturms gemessen hatte.

Fig. 22.



Ideales Profil einer Gewitterwolke.

In der Fig. 22 ist ferner die Kappenbildung angedeutet, welche zwar auch sonst bei Cumulusköpfen beobachtet wird, am schönsten und häufigsten aber bei den Hageltürmen auftritt. Diese Kappen bilden sich, wie namentlich von *de Quervain* erkannt wurde[1]), oberhalb des aufstrebenden Cumuluskopfes, und zwar anfangs noch in einigem Abstande über ihm, später werden sie aber von ihm durchbrochen. Ihre Oberfläche fällt fast stets mit einer Schichtgrenze zusammen. Sie stellen also eine lokale Hebung einer solchen Schichtgrenze dar und sind daher zur Stratusform zu rechnen.

Da an jeder dieser Schichtgrenzen der Cumulusturm eine geringe seitliche Ausbreitung erfährt, so nehmen die herabstürzenden Hagelmassen ihren Weg nicht nur durch das Innere der Wolke, sondern teilweise auch außerhalb derselben und bilden so einen mitunter sehr regelmäßig gebauten zylindrischen Mantel, welcher die traubenförmigen, aufquellenden Wolkenmassen verbirgt. Diese glatten Wände des Hagelturms bildeten eine Zeitlang die Ursache eines Mißverständnisses; man glaubte nämlich, daß die Wolke als Ganzes um eine vertikale Achse rotierte, und hielt dabei die

---

[1]) Beiträge zur Wolkenkunde. Meteorolog. Zeitschr. 1908. S. 433.

vom Hagelturm durchbrochenen Kappen für den durch die Zentrifugalkraft herausgeschleuderten Hagel. Derartige groteske Mißverständnisse sind noch bis vor ganz kurzer Zeit auch innerhalb der Fachkreise verbreitet gewesen.

Es dürfte unmöglich sein, mit einer einzigen Photographie alle diese Erscheinungen zur Anschauung zu bringen, selbst wenn die Ausbildung der Wolke einmal so regelmäßig wäre, wie in unserer Figur angenommen ist. Doch sieht man in den folgenden Abbildungen diese Erscheinungen einzeln dargestellt.

Fig. 23.



Gewitterwolke, Ausbreitung im 4000 *m*-Niveau. Phot. Clayden.

Die erste Abbildung (Fig. 23) zeigt die Ausbreitung im 4000 *m*-Niveau. Man erkennt am Oberrand der Wolke, daß diese hier genau horizontal abgeschnitten ist. Das zerfaserte Aussehen dieser oberen Teile ist durch die Tendenz zur Ausbildung von Fallstreifen hervorgerufen.

Die nächste Abbildung (Fig. 24) zeigt den Cumulus mammatus. Diese Wolkenart kommt übrigens bisweilen auch unter anderen Bedingungen vor, nämlich an der Basis von Stratuswolken, wenn diese Basis mit einer Schichtgrenze zusammenfällt.

Von dem Hagelturm gibt die darauffolgende Abbildung (25) eine Anschauung, welche eine nach der Natur gefertigte Skizze darstellt.[1]) Das

[1]) Nach *Streit,* Meteorolog. Zeitschr. 1896. S. 14.

Fig. 24.



Cumulus mammatus. Phot. Meteorol. Obs. Potsdam.

Fig. 25.



[Hagelturm, nach einer Zeichnung von *Streit*.

Bild ist sehr geeignet, zu zeigen, wie man unwillkürlich stets seine eigene Auffassung in die Zeichnung hineinlegt. Der Beobachter ging nämlich von dem oben angeführten Mißverständnisse aus und glaubte infolgedessen, direkt die Rotation dieser Wolke und das Herausfliegen der Hagelkörner wahrnehmen zu können. Man sieht hier, wie unentbehrlich die Photographie wegen ihrer objektiven Darstellung auch auf dem Gebiete der Wolkenkunde ist.

Die Kappen, welche von den aufstrebenden Cumulusmassen durchbrochen werden, sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die Fig. 26—28

Fig. 26—28.



Serienaufnahme des Durchbruches eines Cumuluskopfes durch eine Kappe; geschlossene Wolkendecke 1600 *m*, Beobachter (im Ballon) 1800 *m*, Kappe 2200 *m*; Zeitintervall je 5 Minuten.

stellen hierbei dasselbe Objekt in Intervallen von 5 zu 5 Minuten dar; man kann auf ihnen deutlich die Entstehung dieser Gebilde verfolgen.

Auf der früheren Abbildung 22 (S. 32) ist aber noch eine andere Erscheinung angedeutet, die wir bisher übergangen haben. Am Fuße des Hagelsturzes bildet sich nämlich meist ein großer Luftwirbel mit horizontal liegender Achse aus. Die Ursache hiervon ist darin zu suchen, daß der fallende Hagel die Luft mit sich reißt. Bekanntlich wird ja die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers wegen des Luftwiderstandes schon nach kurzer Zeit konstant; die noch immer wirkende Schwerebeschleunigung kann man sich dann, worauf *Köppen* aufmerksam gemacht hat, einfach auf die Luft selber übertragen denken, und wenn diese also eine große Zahl von gleichförmig fallenden Hagelkörnern enthält, so ist die Wirkung dieselbe, als ob sie selber um das Gewicht dieser Hagelkörner schwerer geworden wäre, und sie wird deshalb mit großer Gewalt herabstürzen. Dicht über dem Erdboden aber muß sie umbiegen und in horizontaler Richtung aus dem Hagelsturz herausgepreßt werden. Da wegen der Windzunahme mit der Höhe die Hageltürme stets ein wenig nach vorn geneigt sind, so hat der Hagelsturz eine sehr markante vordere Grenzlinie, während er auf der Rückseite der Wolke nach und nach in schwächeren Regen übergeht. Das Herausströmen der mitgerissenen Luft wird infolgedessen auch nur nach vorn stattfinden können. Auf diese Weise entsteht der kurz vor dem Hagel einsetzende „Gewittersturm". Da aber noch in geringer Entfernung vor demselben die „Stille vor dem Sturm" herrscht, so ist ersichtlich, daß diese Luftmengen nach oben ausbiegen und in größerer Höhe wieder zur Wolke zurückkehren müssen, d. h. einen Wirbel mit horizontaler Achse darstellen. In seinen oberen Partien überschreitet dieser Wirbel die Wolkenbasis und bildet hier eine sehr charakteristische und interessante Wolkenwalze, den sogenannten „Gewitterkragen", von dem in den folgenden Figuren 29 und 30 zwei Photographien gegeben sind. Durch diesen Luftwirbel, welcher bisweilen mit verheerender Gewalt den Erdboden abfegt, werden bei den sommerlichen Gewittern erhebliche Schäden angerichtet.

Die erste klassische Beschreibung einer solchen Gewitterböe, welche ein englisches Schulschiff zum Kentern brachte, hat bereits 1878 *Cl. Ley* gegeben.[1])

Auf dem Festlande rührt die erste Beschreibung von *Köppen* her (1882), der auch eine sehr instruktive Zeichnung dieser Wolke (Fig. 31, S. 39) gab, die in mancher Hinsicht den oben genannten Photographien überlegen ist.

Am interessantesten aber sind die Erfahrungen, welche von Luftschiffern gemacht worden sind, die mit ihrem Ballon oder Luftschiff in diesen Wirbel unfreiwillig hineingerieten. So gibt *Miethe* eine ausgezeichnete Schilderung einer solchen „Ballonfahrt im Gewitter", welche wir hier folgen lassen.[2])

---

[1]) The Euridice Squall. *Symons* Met. Mag. Vol. XIII. 1878. p. 33.

[2]) Aus: *A. Kirchhoff,* Die Erschließung des Luftmeeres. Leipzig 1910.

„An einem trüben, schwülen Sommernachmittage stiegen wir vom Übungsplatz des Luftschifferbataillons auf ... Der Wind erstarb schließlich vollkommen, und bedrückende Schwüle umgab uns von allen Seiten ... Nach einer Stunde, und nachdem sich das über uns schwebende Gewölk der Erdoberfläche noch weiter genähert hatte, befanden wir uns über einer Bruchwiese im Walde und beschlossen noch einmalige Ballastausgabe, um wieder auf trockenes Terrain zu gelangen. Durch Ausschütten eines halben Sackes erhoben wir uns allmählich vom Schlepptau und begannen unser frugales Abendbrot in aller Ruhe zu uns zu nehmen. Plötzlich empfanden

Fig. 29.



Gewitterkragen von vorn. Phot. Meteorolog. Obs. Potsdam.

wir aber heftige Kälte. Ein Blick auf das Barometer überzeugte uns, daß wir 2000 *m* in die Höhe geschnellt waren und uns inmitten eines undurchsichtigen formlosen, grauen Nebels befanden, aus dem bald vereinzelte unregelmäßige Windstöße, dann aber heftiger Regen und Hagel auf uns einstürmten. Zugleich begann jenes unheimliche Sausen und Knirschen, welches Wirbelbewegungen in der Luft erzeugen, und unter heftigem Donnerrollen, das von allen Seiten her erschallte, gerieten wir in eine Trombe [1]),

[1]) Nach gütiger Mitteilung des Autors ist hier unter Trombe, wie vielfach üblich, nur ein echter hydrodynamischer Wirbel verstanden, ohne Rücksicht auf die Orientierung der Achse, welche im vorliegenden Falle wohl horizontal gelegen hat. Über die „Trombe“ im engeren meteorologischen Sinne siehe weiter unten.

die uns ergriff und die Gondel zuerst in schwache, dann immer stärkere Pendelbewegungen versetzte. Zugleich sanken wir plötzlich um 1000 *m*, wurden dann wieder in die Höhe gerissen, und dieses Spiel wiederholte sich eine volle halbe Stunde lang, wobei der Hagel in großen Körnern uns von allen Seiten überschüttete, so daß der Boden des Korbes bald mit einer fast fußhohen Schicht von Wasser und Eiskörnern bedeckt war. Die Schwankungen und Pendelungen des Ballons in den umgebenden, stürmisch erregten Luftmassen zu beschreiben, ist kaum möglich. Der

Fig. 30.



Phot. Meteorolog. Obs. Potsdam.

Derselbe Gewitterkragen (näher gerückt), schräg von vorn.

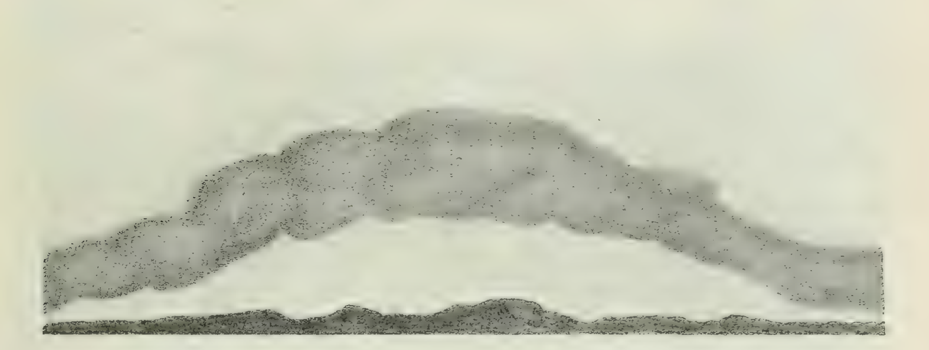
Korb pendelte so stark, daß wir uns gelegentlich in gleicher Höhe mit der Ballonhülle befanden, die knirschend und ächzend über uns schwebte, und daß gelegentlich die Taue, die Korb und Ballon verbinden, sich klingend scharf spannten oder wieder schlaff neben uns herabhingen. Endlich war der Gasinhalt des Ballons durch den Wirbelwind so weit herausgedrückt, daß der aufsteigende Luftstrom, auf dem wir wie die Glaskugel in einer Fontäne geschwebt hatten, uns nicht mehr zu tragen vermochte, und ein sausender Absturz begann. Wir fielen aus einer Höhe von etwa 2200 *m* mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 *m* pro Sekunde abwärts, ein Sturz, der rund 3 Minuten dauerte."

Nur dem Umstand, daß der Ballon in einen Wald fiel, war es zu verdanken, daß die Landung ohne Unfall vor sich ging.

Höchstwahrscheinlich ist auch die Strandung des Zeppelinballons „Deutschland" am 28. Juni 1910 im Teutoburger Wald dadurch herbeigeführt worden, daß das Luftschiff in einen derartigen Wirbel mit horizontaler Achse hineinfuhr. Nachdem es schon mehrere Stunden lang mit schweren Regengüssen und teilweise sehr heftigem böigem Wind zu kämpfen gehabt hatte, so daß der Ballastvorrat schon stark in Anspruch genommen, und das Schiff nur durch die dynamische Höhensteuerung gegen die schwere Belastung zu halten war, heißt es weiter in dem Bericht über den Unfall:

„Plötzlich, es war gegen $4\frac{1}{2}$ Uhr, faßte ein wilder Wirbel das Schiff, hob es mit rasender Eile höher und höher, und trotzdem mit aller verfügbarer Kraft gegen diese Bewegung angearbeitet wurde, war die „Deutschland"

Fig. 31.



Gewitterkragen, nach einer Zeichnung von *Köppen*.

in wenigen Augenblicken bis auf nahezu 1100 *m* Höhe hinaufgerissen worden. Hier tauchte das Schiff tief in dichte Wolken ein, das Wasser lief in dicken Strahlen am Ballon hinab und wurde, mit Schnee und Hagel vermischt, von dem Sturmwind gegen das Fahrzeug gepeitscht, so daß die Mannschaft große Mühe hatte, trotz dieses Unwetters an ihrem verantwortungsvollen Posten auszuharren."

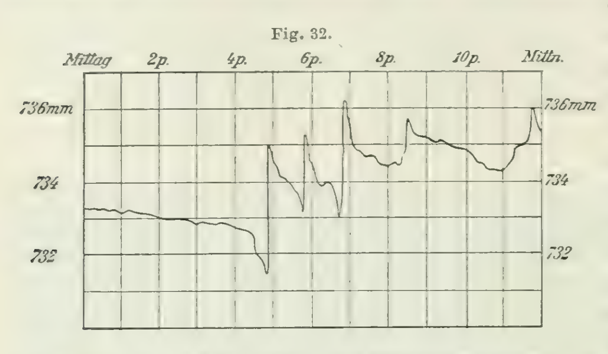
Bei dem darauf folgenden Fall gelang es dann nicht mehr, das Luftschiff vor Berührung mit der Erde zu schützen, so daß die Strandung erfolgte.

Es ist sehr zu wünschen, daß die Kenntnis dieser Dinge zum Gemeingut aller Luftfahrer würde, da es nur bei rechtzeitigem Erkennen dieser verhängnisvollen Luftwirbel möglich ist, ihnen aus dem Wege zu gehen.

Sehr charakteristisch ist das Verhalten des Barometers am Erdboden, wenn ein Gewitter mit einem solchen Luftwirbel über denselben hinwegzieht. Fig. 32 gibt die Registrierkurve des Luftdruckes an einem Tage, an welchem drei schwere Hagelwetter in kurzen Abständen über

die Station fortzogen.[1]) Jedesmal folgt nach einem scharfen Fall des Barometers ein fast momentanes Aufschnellen bis zu einer abnorm großen Höhe, von welcher der Druck dann wieder langsam herabsinkt. Diese Schwingung wird durch den soeben besprochenen Luftwirbel verursacht, indem die aufsteigende vordere Hälfte desselben durch ihre Saugwirkung eine starke Verminderung des Luftdruckes am Erdboden erzeugt, während die absteigende Hälfte durch ihre Druckwirkung den Luftdruck erhöht. Das fast momentane Aufschnellen des Druckes entspricht dem Zeitmoment, in welchem die Achse des Wirbels gerade über den Beobachter fortschreitet. Man kann übrigens bemerken, daß der Luftdruck nach einer derartigen Schwankung niemals ganz auf den früheren Stand zurückkehrt, sondern stets noch etwas höher bleibt. Dieser Unterschied ist auf die Abkühlung der Luft durch die Hagelkörner zurückzuführen, da kalte Luft schwerer ist als warme.

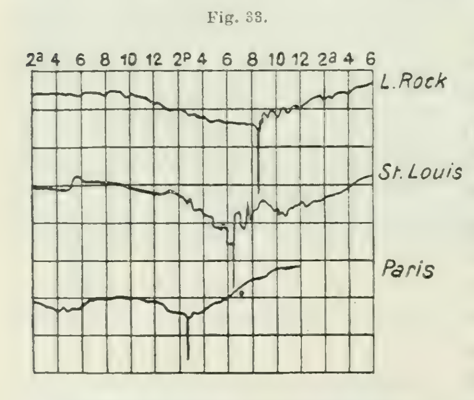
Fig. 32.



Barogramm während dreier auf einander folgender Hagelwetter am 21. August 1890 zu Graz, nach *Prohaska*.

Im Gegensatz zu dieser Registrierung sind in der folgenden Fig. 33 drei andere Registrierungen des Luftdruckes vereinigt[2]), welche gleichfalls bei Gelegenheit von Gewittern erhalten wurden, jedoch einen ganz anderen Charakter zeigen. Hier handelt es sich nur um eine einmalige starke Druckverminderung und ein Wiederansteigen bis zum normalen Wert. Diese Erscheinung ist charakteristisch für die sogenannten Tromben (Wasserhosen, Windhosen, Wettersäulen, in Amerika[3]) auch Tornados genannt). In der Figur sind die Registrierungen dreier verschiedener Erschei-

Fig. 33.



Luftdruckregistrierung bei drei Tromben. (Die Skalenintervalle entsprechen 5 *mm*.)

[1]) Nach *Prohaska*, Die Hagelschläge des 21. August 1890 in Steiermark. Met. Zeitschr. 1891. S. 121.

[2]) Nach *Köppen*, Die Windhose vom 5. Juli 1890 bei Oldenburg und die Gewitterböe vom 10. Juli 1896 in Ostholstein. Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie. H. 10, 11 und 12. 1896.

[3]) Die afrikanischen „Tornados“ entsprechen dagegen dem oben besprochenen Gewittersturm, der durch den Wirbel mit horizontaler Achse erzeugt wird.

nungen zusammengestellt, nämlich des Tornados von Little Rock, Ark., vom 2. Oktober 1894, ferner von Saint Louis, Mo., vom 27. Mai 1896, und von Paris vom 10. September 1896. Diese Kurven geben aber schwerlich die größte, im Zentrum des Wirbelfadens herrschende Druckverminderung an. In Little Rock und Paris ging allerdings die Zerstörungsspur mitten über die Stationen fort, in Saint Louis aber war der Barograph mehr als 1 *km* von der Zentrallinie der Zerstörungen entfernt, wenngleich auch noch an seinem Orte orkanähnlicher Sturm auftrat. Das Wolkengebilde der Trombe wurde in keinem dieser Fälle beobachtet (in Little Rock ließ die Dunkelheit keine Wahrnehmung zu). Der Tornado von Saint Louis war ein Glied einer ganzen Gruppe, die sich im Verlauf von 6 Stunden auf einem Raume

Fig. 34.



Phot. Chamberlain.

Die Trombe von Cottage City (19. August 1896) nach *Bigelow*.

von 400 *km* Länge und 50 *km* Breite abspielten und zu einem großen Gewitter gehörten. Einige von ihnen, aber nicht der registrierte, zeigten den für Tornados charakteristischen Wolkentrichter.

Es ist hiernach sehr wahrscheinlich, daß im zentralen Teile einer gut ausgebildeten Trombe eine erheblich stärkere Druckverminderung herrscht, als die Registrierungen aufweisen, die etwa 10 *mm* geben. In der Tat ist auf See auch bereits einmal 35 *mm* registriert worden.

Die Figur 34 zeigt eine von *Bigelow* veröffentlichte Photographie einer solchen Trombe. Ganz rechts sieht man noch den herabströmenden Regen oder Hagel. Die Trombe selber stellt eine gewaltige Säule dar, welche von der Meeresoberfläche bis zu der in 1000 *m* Höhe liegenden Wolkenbasis hinaufreicht. Der Durchmesser dieser Säule konnte auf der Photographie aus-

gemessen werden und ergab sich zu 75 *m*. Am unteren Ende sieht man noch eine große Wolke von Gischt. Die Rotation der Luft um diesen vertikalen Wirbelfaden herum ist eine außerordentlich schnelle. Geschwindigkeiten von 100 *m* per Sekunde dürften hier nicht selten vorkommen. Hierdurch wird eine gewaltige Zentrifugalkraft im Innern dieses Wirbelfadens erzeugt, welche die Ursache für die starke Druckverminderung ist und auf diese Weise längs des Wirbelfadens eine säulenförmige Wolke erzeugt. Befindet sich die Trombe über einer Wasseroberfläche, so äußert sich die Druckverminderung in ihrem Innern auch darin, daß sie die Wasseroberfläche an dieser Stelle um etwa 1 *m* anzuheben imstande ist, und diese Druckverminderung ist es auch, welche in den obigen Registrierungen zum Ausdruck kommt. Die Zerstörungen, welche der Fuß des Wirbels auf der Erdoberfläche anzurichten imstande ist, spotten jeder Beschreibung. Man kennt Beispiele, wo ganze Häuser versetzt wurden, große Fabrikschlote um mehrere Meter zur Seite gerückt oder gedreht wurden; daß die Dächer von den Häusern gerissen und weit fortgeschleudert werden, gehört zu den gewöhnlichsten Erscheinungen. Schreitet die Trombe über einen Sumpf oder einen flachen Weiher fort, so wird nicht selten das ganze Wasser desselben in Gischt verwandelt und entführt, und es kommt vor, daß auf diese Weise eine große Menge von Fröschen mit emporgerissen werden und in großer Entfernung davon wieder zur Erde fallen. Hierauf sind die „Froschregen“, „Fischregen“, „Muschelregen“ und andere merkwürdige Erscheinungen zurückzuführen. (Auch Regen von Insektenlarven, welche dicht unter der Oberfläche des Ackerbodens ihren Aufenthalt haben, sind bekannt.)

Obwohl die Erscheinung an sich gar nicht selten vorkommt, so ist doch unsere Kenntnis derselben noch recht dürftig; da die Zerstörungsspur meist nur wenige 100 *m* breit ist, so bleiben viele Fälle überhaupt unbemerkt, oder wenn sie nachträglich bemerkt werden, so werden sie fälschlich auf den früher geschilderten Gewittersturm zurückgeführt. Infolgedessen haben wir auch erst sehr wenige zuverlässige Beschreibungen, und die Frage, in welcher Weise diese Erscheinung mit dem übrigen Mechanismus der Gewitterwolke zusammenhängt, läßt sich daher mit Sicherheit heute nicht beantworten. Ich habe vor kurzem die Vermutung ausgesprochen, daß diese vertikalen Wirbelfäden nur die herabgebogenen Enden des früher besprochenen horizontalen, vor dem Hagelsturz einherziehenden Wirbels darstellen. Da nämlich derartige Wirbel nicht frei in der Luft endigen können, so werden sie sich in Richtung ihrer eigenen Achse immer mehr verlängern, bis sie in einiger Entfernung von dem Hagelsturz genügend selbständig geworden sind, um sich herabzubiegen und sich mit ihrem Ende in der Erde festzusaugen. Unter dieser Annahme läßt sich eine große Zahl von Einzelheiten erklären, für welche wir früher keine Ursache anzugeben vermochten. — Da indessen die wissenschaftliche Diskussion über diese Hypothese gegenwärtig noch nicht abgeschlossen ist, so kann hier auch nicht weiter darauf eingegangen werden.

3. Die Erforschung der obersten Atmosphärenschichten.

In allerjüngster Zeit hat sich eine Reihe höchst interessanter Untersuchungen entsponnen, welche noch über den Bereich der aerologischen Forschungen weit hinausgreifen und sich mit der Natur der mit Ballonen nicht mehr erreichbaren obersten Luftschichten beschäftigen. Natürlich kann es sich hier nur um indirekte Aufschlüsse mit Hilfe derjenigen Erscheinungen handeln, welche sich in für uns sichtbarer Weise in diesen großen Höhen abspielen. Unsere Schlußfolgerungen bleiben deshalb hier immer mehr oder weniger hypothetisch, und ganz besonders gilt dies noch für den gegenwärtigen Zeitpunkt.

Schon im Jahre 1875 hat der bekannte Wiener Klimatologe *Hann*, als ihm bekannt geworden war, daß *Boussingault* Wasserstoff in geringen Spuren in der atmosphärischen Luft nachgewiesen hatte, darauf aufmerksam gemacht, daß dann die Atmosphäre oberhalb 100 *km* Höhe aus reinem Wasserstoffgas bestehen müßte. Lange Zeit blieb es bei diesem einen Hinweise. Als aber 1901 *Gautier* aufs neue eine Bestimmung ausführte, die 0·02 Volumprozente Wasserstoff in der Luft gab (was nach *Rayleighs* Kritik allerdings auf 0·0033 zu verbessern sein dürfte), kam *Hann* im Jahre 1903 nochmals auf diese Frage zurück und zeigte durch eine ausführliche Rechnung, daß der Wasserstoff nach den Gasgesetzen schon bei 50 *km* Höhe etwa 14 Volumprozente, in 100 *km* aber 99 ausmachen müßte. Die Notwendigkeit hiervon kann man leicht einsehen. Die verschiedenen Gase der Luft besitzen am Erdboden gewisse „Partialdrucke“, deren Summe eben den gesamten meßbaren Luftdruck darstellt. Nach den Gasgesetzen muß dieser Partialdruck für jedes Gas in einem eigenen, durch das spezifische Gewicht desselben bestimmten Tempo mit der Höhe abnehmen, nämlich bei schweren Gasen schnell, bei leichten langsam. Wenn wir also nur bis in genügend große Höhen hinaufgehen, so müssen wir schließlich an einen Punkt kommen, wo der Partialdruck des schweren Stickstoffs an dem zwar von Anfang an kleinen, aber nur sehr langsam abnehmenden Partialdruck des Wasserstoffs vorbeisinkt, und von dieser Höhe ab muß der Wasserstoff in der Zusammensetzung den Hauptbestandteil ausmachen.

Hann erkannte schon damals sogleich die große Bedeutung dieser Beziehungen, doch fehlte es ihm an Material, um die Realität dieser zunächst rein rechnerischen Ergebnisse zu prüfen. Auch eine Neuberechnung, welche *Humphreys* mit verbesserten Annahmen über die Temperaturverteilung in der Vertikalen (auf Grund der inzwischen gewonnenen Aufschlüsse über die Stratosphäre) im Jahre 1909 ausführte, brachte die Frage nicht wesentlich weiter.

Im gleichen Jahre sprach ich, ganz unabhängig von diesen theoretischen Überlegungen, die Vermutung aus, daß in der Höhe von etwa 70 bis 80 *km* eine sehr markante Schichtgrenze liegen müßte, einmal weil hier die Ausbruchswolken des Vulkans Krakatau ihr Aufsteigen beendet und

sich offenbar seitlich ausgebreitet hatten (die noch ausführlich zu besprechenden „leuchtenden Nachtwolken"), und zweitens, weil hier die obere Grenze des Hauptdämmerungsbogens liegt, die Luft in dieser Höhe also aufhört, bei Durchstrahlung mit Sonnenlicht dasselbe diffus zu reflektieren. Diese Vermutung wurde mir zur Gewißheit, als sich bei nochmaligem Durchrechnen der theoretischen Ableitungen von *Hann* zeigte, daß sich gerade in dieser Höhe der überraschend schnelle Umschlag in der Zusammensetzung der Atmosphäre vollziehen muß.

Aber noch von einer anderen Seite her ergab sich eine ganz unerwartete Bestätigung für die Realität dieser oberen Wasserstoffsphäre. Und hierbei müssen wir etwas verweilen.

Es existiert nämlich bereits eine große Zahl von Fällen, in denen glaubhafte Berichte über außerordentlich weite Hörbarkeit von Geschützdonner und ähnlichen Schallphänomenen überliefert sind. *v. dem Borne* hat zwei derartige Fälle genauer untersucht. Besondere Beachtung hat aber die von *de Quervain* beschriebene Dynamitexplosion an der Jungfraubahn vom 15. November 1908 gefunden.

Das Merkwürdige bei diesem Phänomen besteht darin, daß außer einem die Explosionsstelle umgebenden Gebiet normaler Hörweite ein zweites noch viel ausgedehnteres Gebiet abnormer Hörweite vorhanden war, welches von ersterem durch eine rund 100 *km* breite „Zone des Schweigens" getrennt war. Wie aus der von *de Quervain* gegebenen Kartenskizze Fig. 35 hervorgeht, erstreckt sich das Gebiet normaler Hörweite bis etwa 30 *km* von der Schallquelle, ist aber einseitig nach Norden zu entwickelt. Die darauf folgende Zone des Schweigens, aus welcher zahlreiche negative Berichte vorliegen, reicht bis 140 *km* von der Schallquelle. Hier beginnt, etwa einen Azimutwinkel von 80° (von Norden bis Osten) umfassend, die Zone abnormer Hörbarkeit, welche etwa 50 *km* breit ist, und deren Innenrand schärfer markiert erscheint als der Außenrand.

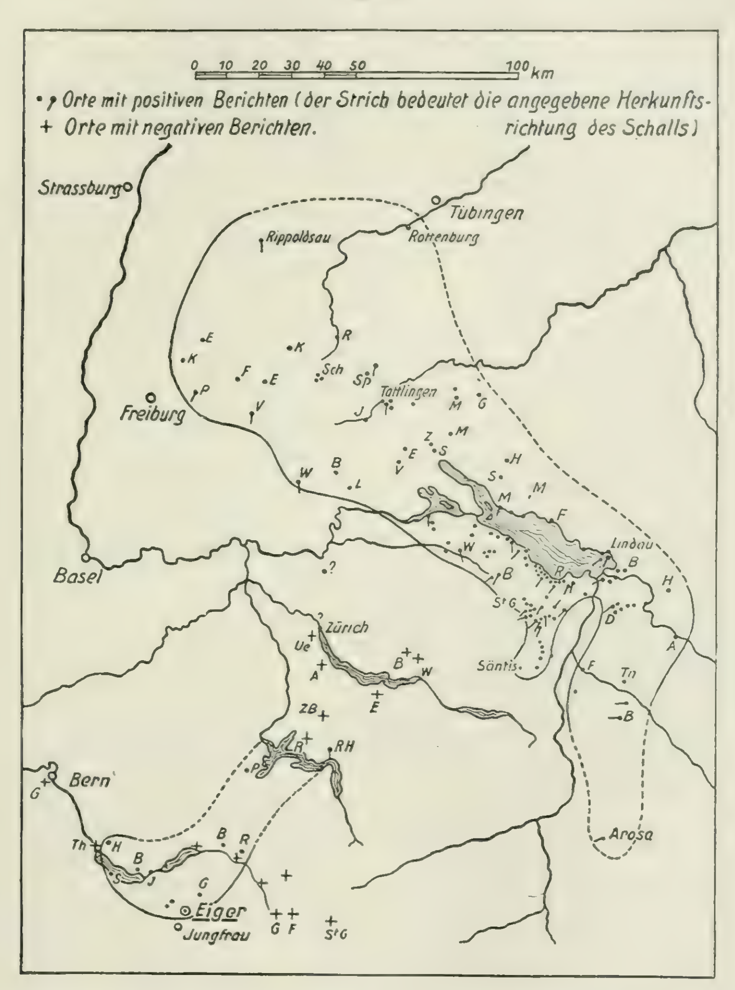
Diese letztere Hörbarkeitszone führt nun *v. dem Borne* auf die Schallreflexion an der in Rede stehenden Schichtgrenze zurück.[1]) Im Prinzip beruht dies auf folgender Überlegung: Da die Schallgeschwindigkeit in gewöhnlicher Luft nur etwa 330, in Wasserstoff aber 1280 *m* pro Sekunde beträgt, so müßte, falls eine scharfe Schichtgrenze vorhanden wäre, schon bei einem Einfallswinkel des Strahles an der Schichtgrenze von 15° (gegeben durch $\sin \varkappa = \frac{v}{v_1}$) Totalreflexion eintreten, und der Strahl würde, wenn er im übrigen geradlinig verliefe, in 40 *km* Abstand von der Schallquelle wieder die Erde erreichen. Von hier ab nach außen zu läge (ohne scharfe äußere Begrenzung) eine zweite Hörbarkeitszone. Indem *v. dem Borne* nun einmal die Krümmung berücksichtigt, welche die Schallstrahlen innerhalb der Troposphäre wegen der hier herrschenden Temperaturab-

---

[1]) *v. dem Borne,* Schallverbreitung bei Explosionskatastrophen. Physikal. Zeitschr. XI. 1910. Nr. 11, S. 483.

nahme mit der Höhe erleiden müssen (die Druckabnahme mit der Höhe übt keine Wirkung aus), und indem er weiter in Rechnung zieht, daß die beiden Gase an der Schichtgrenze nicht scharf getrennt sind, so daß auch keine eigentliche Reflexion, sondern nur ein allmähliches Herumbiegen der

Fig. 35.



Schallverbreitung bei der Dynamitexplosion an der Jungfraubahn am 15. November 1908, nach *de Quervain.*

Schallstrahlen erfolgen kann, gelingt es ihm, zu zeigen, daß hierdurch der vorerwähnte Abstand von 40 *km* auf etwa 120 *km* hinausgeschoben wird.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß diese Erklärung in einer weit vollkommeneren Weise den Erscheinungen gerecht wird als die früheren Versuche, dieselben lediglich aus der Windänderung mit der Höhe

zu erklären, und damit bieten diese Rechnungen einen indirekten Beweis für die Realität einer oberhalb 70 *km* liegenden Wasserstoffsphäre.

Es erscheint hiernach nicht ausgeschlossen, daß man diese Schallphänomene zu einer weiteren Erforschung der genannten Schichtgrenze systematisch verwenden kann. Bei geeigneten Vorbereitungen würden höchstwahrscheinlich schon erheblich geringere Schallintensitäten, beispielsweise einzelne Kanonenschüsse, genügen, und derartige Versuche würden sich wohl ohne allzu große Kosten auf Schießplätzen anstellen lassen. Es ist zu hoffen, daß auf diese Weise das bisher rein zufällige und mit allen Mängeln eines solchen behaftete Beobachtungsmaterial bald durch ein mehr systematisches wird ersetzt werden können.

In einer neuen, größeren Arbeit [1]) habe ich sodann das ganze, diese Dinge betreffende Tatsachenmaterial zusammengestellt und bin dabei zu dem Schlusse gekommen, daß an der Zusammensetzung der höchsten Schichten außer dem Wasserstoff noch ein anderes unbekanntes Gas beteiligt sein muß, welches noch leichter als Wasserstoff ist und von etwa 200 *km* ab aufwärts der vorherrschende, später alleinige Bestandteil der Atmosphäre wird. In der Sphäre dieses unbekannten Gases würden sich dann die höchsten Polarlichter abspielen, welche die grüne Spektrallinie von 557 $\mu\mu$ Wellenlänge, die sogenannte Nordlichtlinie, zeigen, und das von ihr diffus zurückgeworfene Sonnenlicht nach Sonnenuntergang würde das Zodiakallicht repräsentieren. Da das neue Gas wahrscheinlich mit dem Coronium der Sonnenatmosphäre identisch sein dürfte, habe ich vorgeschlagen, es „Geocoronium" zu nennen. Bei der Einführung dieses hypothetischen Gases muß man allerdings noch gewisse zahlenmäßige Annahmen über das Molekulargewicht und auch über die in der Atmosphäre vorhandene Menge machen, die einstweilen noch sehr unsicher sind und nur eine allgemeine Orientierung abgeben können. Unter diesen Annahmen habe ich die Zusammensetzung der Atmosphäre in großen Höhen wie folgt berechnet:

Zusammensetzung der Atmosphäre in Volumprozenten.

Höhe *km*	Luftdruck *mm*	Volumprozente					
		(Geocoronium)	Wasserstoff	Helium	Stickstoff	Sauerstoff	Argon
0	760	0·00058	0·0033	0·0005	78·1	20·9	0·937
20	41·7	0	0	0	85	15	—
40	1·92	0	1	0	88	10	—
60	0·106	4	12	1	77	6	—
80	0·0192	19	55	4	21	1	—
100	0·0128	29	67	4	1	—	—
120	0·0106	32	65	3	—	—	—
140	0·00900	36	62	2	—	—	—
200	0·00581	50	50	1	—	—	—
300	0·00329	71	29	—	—	—	—
400	0·00220	85	15	—	—	—	—
500	0·00162	93	7	—	—	—	—

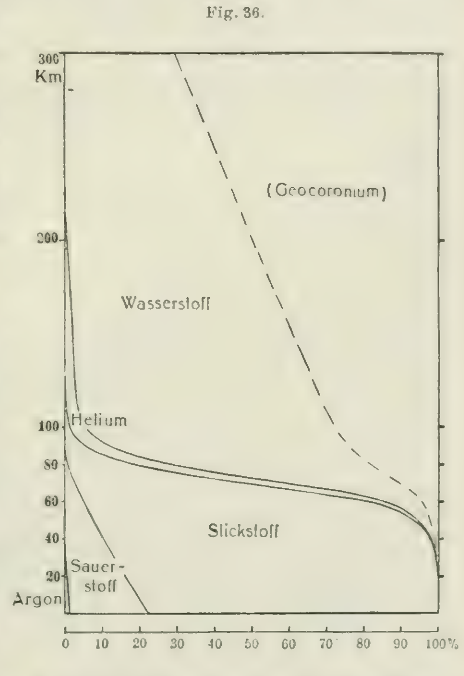
[1]) Untersuchungen über die Natur der obersten Atmosphärenschichten. Physikal. Zeitschr. XII. 1911. Nr. 5 und 6.

Die sonst noch in der Luft am Erdboden nachweisbaren geringen Mengen anderer Gase, wie Kohlensäure, Neon, Krypton, Xenon und Ozon, erreichen nirgends 1% in der Zusammensetzung.

In der folgenden Fig. 36 sind diese Angaben veranschaulicht. Will man aus ihr die Zusammensetzung in einer bestimmten Höhe, z. B. bei 80 *km*, ablesen, so legt man durch sie die Horizontale, deren einzelne Abschnitte dann direkt gleich den Volumprozenten der Gase sind, in deren Feldern sie liegen.

Wie man der Figur unmittelbar entnehmen kann, nimmt der Sauerstoffgehalt sehr schnell und gleichmäßig mit der Höhe ab und verschwindet bei etwa 80 *km* vollständig. Dagegen erreicht der Stickstoff bei 40 *km* ein Maximum von 80%, um dann zwischen 60 und 70 *km* außerordentlich rasch zu verschwinden. Der hier eintretende Umschlag in der Zusammensetzung ist für den ersten Anblick ein überraschend plötzlicher; die Ursache davon ist der große Unterschied der spezifischen Gewichte der beiden in Betracht kommenden Gase Stickstoff und Wasserstoff. Der Gehalt an Helium erreicht bei etwa 90 *km* ein Maximum, dessen numerischer Betrag aber infolge der Unsicherheit des Ausgangswertes für den Erdboden noch wenig zuverlässig erscheint.

Fig. 36.



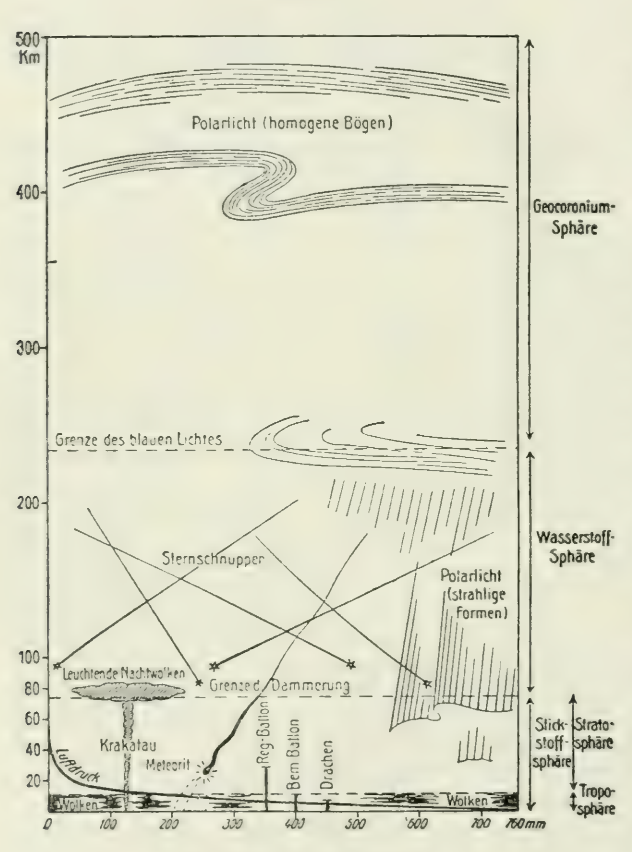
Mutmaßliche Zusammensetzung der Atmosphäre.

In der Figur ist endlich ebenso wie in der Zahlentabelle das hypothetische Gas Geocoronium berücksichtigt; die Verteilung der übrigen Gase wird hierdurch fast gar nicht beeinflußt, denn wenn man es ganz fortließe, so würde der hierdurch frei werdende Raum in der Figur dem Wasserstoff zufallen, ohne daß sich die übrigen Grenzlinien in nennenswerter Weise verschieben.

Obgleich es sich hier — auch wenn man von der Realität des Geocoroniums ausgeht — nur um rohe Schätzungen handeln kann, so ist doch leicht einzusehen, daß die in der Figur dargestellte Verteilung nicht sehr falsch sein kann, sofern überhaupt noch ein leichteres Gas als Wasserstoff in der Atmosphäre existiert. Behalten wir nämlich die eine Annahme unserer Rechnung bei, nämlich daß in 200 *km* 50% Wasserstoff und 50% Geocoronium vorhanden sind, und variieren die andere Annahme, das Molekulargewicht betreffend, so überzeugt man sich leicht, daß selbst für ein

Gas vom Molekulargewicht Null die schräge gestrichelte Linie sich nur ganz unwesentlich mehr neigen würde; unterhalb 200 *km* hätten wir dann etwas weniger, oberhalb etwas mehr Geocoronium, als in der Figur angegegeben. In dem anderen Grenzfall, daß sein Molekulargewicht gerade gleich dem des Wasserstoffs wäre, würde die gestrichelte Linie sich ganz vertikal stellen, es würden dann (oberhalb der unteren schweren Gase) überall 50% Geocoronium anzutreffen sein.

Fig. 37.



Querschnitt der Atmosphäre.

Man sieht also, daß eine etwaige Fehlschätzung des Molekulargewichtes des unbekannten Gases die Neigung der Trennungslinie gegen den Wasserstoff in der Figur nur wenig ändern würde. Ein ähnlich scharfer Umschlag in der Zusammensetzung wie bei 70 *km* Höhe kann hier also nicht mehr stattfinden.

Die Frage ist nun, wie weit uns die Beobachtungen Anhaltspunkte über die Realität dieser doch noch auf sehr unsicherer Basis stehenden theoretischen Berechnung liefern können. Von der Erscheinung der Schallreflexion war bereits die Rede. Aber außerdem gibt es noch eine große Zahl anderer Erscheinungen, die sich in diesen höchsten Schichten der Atmosphäre abspielen, und durch deren kritische Diskussion wir mancherlei Aufschlüsse erhalten können.

Die obenstehende Fig. 37 stellt einen Querschnitt der Atmosphäre dar und enthält — wenn auch zum Teil nur schematisch — die hier in Betracht kommenden Erscheinungen in den richtigen Höhenverhältnissen zusammengestellt. Die ganze Atmosphäre zerfällt wie bei der vorigen Figur

in eine Geocoroniumsphäre, eine Wasserstoffsphäre und eine Stickstoffsphäre, und letztere wieder in die Stratosphäre und Troposphäre, welche beide bereits in dem vorangehenden Kapitel über die Ergebnisse der Aerologie eingehend besprochen wurden. In der Figur sind auch die drei höchsten aerologischen Experimente, nämlich der höchste Drachenaufstieg, der höchste bemannte Ballonaufstieg und der höchste Registrierballonaufstieg eingetragen.

Wie man sieht, ist die Mächtigkeit der für das Wetter allein in Betracht kommenden Troposphäre im Verhältnis zu den darüber liegenden Schichten fast verschwindend klein. Man würde hieraus aber ein sehr verkehrtes Bild von der Wichtigkeit dieser untersten Schicht erhalten, wenn man nicht auch die Luftdruckverhältnisse berücksichtigen würde. Da die Luft vollkommen kompressibel ist, so enthalten die untersten Schichten viel mehr Masse als die oberen. Schon in 5 *km* Höhe ist der Luftdruck auf die Hälfte gesunken, d. h. wir haben hier bereits die halbe Atmosphäre, der Masse nach, unter uns. An der oberen Grenze der Troposphäre, bei 11 *km* Höhe, herrscht nur noch ein Viertel des Gesamtluftdruckes, oder mit anderen Worten: die Troposphäre enthält trotz ihrer geringen Mächtigkeit bereits drei Viertel der gesamten Atmosphäre in sich verdichtet. Das übrigbleibende Viertel ist wiederum zum allergrößten Teil in der Stratosphäre enthalten, und die Wasserstoffsphäre enthält die Gase bereits in ganz außerordentlicher Verdünnung. Gleichwohl spielen sich, wie erwähnt, sogar in noch viel größeren Höhen gewisse Erscheinungen ab, welche von dem Vorhandensein einer Atmosphäre Zeugnis ablegen.

Die größten derartigen Höhen geben die Polarlichter, welche weiter unten ausführlich behandelt werden sollen. Zunächst mögen die übrigen Erscheinungen der Reihe nach besprochen werden.

Die Sternschnuppen sind kleinste, meist unregelmäßig geformte, feste Weltkörper, die mit einer Geschwindigkeit, deren Größenordnung 50 *km* pro Sekunde beträgt, in die Erdatmosphäre eindringen und hier meist durch Schmelzen, vielleicht Verdampfen[1]) ihre Materie in Gestalt einer Wolke ausbreiten, welche nach erfolgter Abkühlung offenbar aus feinsten festen Partikeln, kosmischem Staube, bestehend zu denken ist. Die uns sichtbare Leuchterscheinung kommt dadurch zustande, daß die vor dem Meteoriten befindlichen Gase bei der großen Geschwindigkeit desselben nicht Zeit haben, zur Seite auszuweichen, sondern komprimiert werden. Die durch die Kompression erzeugte Wärme hat gleichfalls keine Zeit, etwa durch Leitung sich zu verteilen, und ist hoch genug, um die in Frage kommenden Gase der Atmosphäre zu intensivem Leuchten zu bringen. Ein großer Teil der Leuchterscheinung repräsentiert daher glühende Luft. Aber diese glühende Luft wirkt auf den Meteoritenkörper in derselben Weise wie eine Gebläseflamme, und bringt ihn wenigstens oberflächlich zum Schmelzen. Die geschmolzene Rinde wird beständig durch den starken Luftzug fortgeblasen, und auf diese Weise

[1]) Die noch häufig anzutreffende Überlieferung, daß die Sternschnuppen verbrennen, ist verkehrt, da in den Schichten, in denen sich die Erscheinung abspielt, kein Sauerstoff mehr vorhanden sein kann.

schmilzt der Meteorit auf seinem Laufe zusammen wie ein Stück Eis in warmem Wasser. Sein Inneres bewahrt dabei die außerordentlich tiefe Temperatur, welche er im Weltraume besaß, da die Wärme ja keine Zeit hat, einzudringen. So erzeugte z. B. ein bei Dhurmsala in Ostindien gefallener Meteorit beim Berühren ein heftiges Schmerzgefühl von Kälte.

Wegen dieser Vorgänge hat man bei der Leuchterscheinung der Sternschnuppen zwei Teile zu unterscheiden, nämlich außer den leuchtenden Gasen, welche das Luftspektrum geben, noch die glühende Oberfläche des Kerns, die natürlich ein kontinuierliches Spektrum erzeugt. Ob auch glühende Dämpfe und Gase aus dem Meteoriten sich an dem Leuchten beteiligen, muß dahingestellt bleiben.

Da die Trägheit der atmosphärischen Gase somit den eigentlichen Grund für die Erscheinung bildet, die verschiedenen Gase aber keineswegs gleich träge sind, so spielt sich auch der Vorgang in den drei Hauptschichten: der Geocoroniumsphäre, der Wasserstoffsphäre und der Stickstoffsphäre, in sehr verschiedener Weise ab. In der ersten treten überhaupt keine Lichterscheinungen auf, die Trägheit dieses Gases ist so gering, daß eine Geschwindigkeit von einer höheren Größenordnung dazu gehörte, um es auf diese Weise zum Leuchten zu bringen. Der trägere Wasserstoff dagegen wird zum Glühen gebracht und erzeugt so die Erscheinung der Sternschnuppen. Die vielfach gemessenen Höhen der letzteren liegen stets innerhalb der Wasserstoffsphäre. *Brezina* gab hierfür die folgende Zusammenstellung[1]):

Es fanden	Höhe des Aufleuchtens		Höhe des Erlöschens	
	Kilometer	Zahl der Beobachtungen	Kilometer	Zahl der Beobachtungen
Al. Herschel aus *Brandes'* und *Benzenbergs* Beobachtungen	113	178	87	210
H. A. Newton aus Beobachtungen von 1798—1863 (mit Inbegriff der von *Herschel* verwendeten)	118	234	81	290
Secchi aus seinen eigenen Beobachtungen	120	27	80	27
Im besonderen fanden:				
Weiß für die Perseiden (Augustmeteore) Europa	114·7	49	87·9	49
Newton für die Perseiden, Amerika	112·4	39	90·1	39
Newton für die Leoniden (Novembermeteore)	154·9	78	97·8	78
Weiß für die Leoniden	132·5	4	79·8	4
	151·4	6	95·1	6

[1]) Die Meteoriten vor und nach ihrer Ankunft auf die Erde; Vorträge d. Ver. z. Verbr. naturw. Kenntnisse in Wien. Wien 1893.

Interessant ist hierbei, daß die schneller bewegten und darum auch helleren Leoniden größere Höhen für das erste Aufleuchten geben als die Perseiden. Als allgemeines Gesetz geht dies aus den Beobachtungen von *Schmidt* und *Heis* hervor; sie teilten die Sternschnuppen in vier Helligkeitsklassen (I = hellste Klasse) und fanden die folgenden mittleren Höhen:

	I	II	III	IV
Mittlere Höhe	122	119	81	64 *km*
Zahl der Beobachtungen . . .	14	20	24	21 „

Von besonderem Interesse ist auch die Frage, welches die größten noch sicher nachgewiesenen Höhen des ersten Aufleuchtens sind. Natürlich sind sie größer als die in der obigen Tabelle gegebenen Mittelwerte. Doch sind nach *Denning* Höhen von mehr als 240 *km* bereits sehr selten, während er 200 *km* noch in 9 unter 26 Fällen fand. Übrigens ist die Höhe dieses ersten Aufleuchtens auch nach den Beobachtungen, welche 1867 anläßlich der Augustmeteore von der Berliner Sternwarte veranstaltet wurden, nicht unerheblich größer als die von *Brezina* genannten Werte; im Mittel ergab sich das Aufleuchten nämlich bei 180 *km*, während für das Verlöschen wie früher 80 *km* resultierte.

Fig. 38.



Zeichnung eines in die Stickstoffsphäre eintretenden Meteors; der obere dünne Teil des Schweifes liegt in der Wasserstoffzone und zeigt grünes, der untere breite (im Stickstoff) rotes Licht.

Die angeführten Zahlen zeigen jedenfalls, daß sich das ganze Phänomen zwischen rund 150 und 80 *km* abspielt, also ganz innerhalb der Wasserstoffsphäre zu liegen kommt.

Während nun in der Geocoroniumsphäre überhaupt noch keine, und in der Wasserstoffsphäre nur eine relativ schwache Lichterscheinung auftritt, wird diese besonders lebhaft in den Fällen, in welchen das Meteor den Massenverlust in den vorangehenden Schichten überdauert und in die Stickstoffsphäre eintritt. Vielfach wird hervorgehoben, daß auch große

Meteore anfangs ganz das Aussehen von Sternschnuppen zeigen (grünes Licht) und erst von einem bestimmten Punkte ihrer Bahn ab, der offenbar dem Eintritt in die Stickstoffsphäre entspricht, außerordentlich an Helligkeit gewinnen (rotes Licht), wie es z. B. auch bei dem in Fig. 38 abgebildeten Meteor der Fall war.

In der Stickstoffsphäre endigen diese Meteore meist mit einer Explosion und lassen ihre Bruckstücke zur Erde herabfallen. Die folgende Zusammenstellung über die Explosionshöhen, welche *G. v. Nießl* gegeben hat, zeigt, daß diese stets innerhalb der Stickstoffsphäre liegen.

Explosionshöhen von Meteoren.

12. Februar 1875, Homestead, Nordamerika	3·7 *km*
5. Mai 1869, Krähenberg, Bayern	8·2 „
3. Februar 1882, Mócs, Siebenbürgen, und zwar	
über Mócs	8·4 „
über Gynlatelke	14·4 „
13. Dezember 1807, Weston, Nordamerika	11·1 „
9. Juni 1866, Knyahinya, Ungarn	11·9 „
13. Juli 1847, Braunau, Böhmen . . . . . unter	14·8 „
15. Juli 1878, Tieschitz, Mähren . . . . beiläufig	20·0 „
14. Mai 1864, Orgueil, Frankreich	23·0 „
19. Juni 1876, Ställdalen, Schweden	40·8 „
30. Januar 1868, Pultusk, Polen	41·5 „
26. Mai 1751, Hraschina, Agram, Kroatien	46·7 “

Man sieht, daß hier sämtliche Höhenlagen innerhalb der Stickstoffsphäre vorkommen; auch die Schichtgrenze bei 11 *km* Höhe stellt keineswegs eine Grenze für diese Erscheinungen dar, wie die ersten Werte der Tabelle zeigen. Andrerseits war der Meteorit auch bei den größten hier erhaltenen Höhen doch immer schon 20 *km* tief in die Stickstoffsphäre eingedrungen.

Die Ursache der Explosion ist übrigens noch nicht völlig aufgeklärt. Es ist nicht undenkbar, daß sie auf eine immer schneller werdende Rotation um eine mit der Flugrichtung zusammenfallende Achse zurückzuführen ist, die schließlich zur Zersprengung des Meteoriten durch die übergroße Zentrifugalkraft führt. Der Beginn einer solchen Rotation ist häufig daran zu erkennen, daß die Flugbahn eine schraubenförmige Gestalt hat, ähnlich den schraubenförmigen Fallbahnen der Schneeflocken (vgl. Fig. 38).

Von großer Bedeutung für unser Problem ist die spektroskopische Untersuchung der Sternschnuppen, da ihr Licht wenigstens teilweise von glühender Luft herrührt. Leider liegen nicht viel brauchbare Beobachtungen vor. Die älteren Okularbeobachtungen (direkte Betrachtung im Spektroskop) zeigen nur, daß der Kern ein kontinuierliches Spektrum gibt, also aus glühendem, festem oder flüssigem Material besteht, während der Schweif durch sein Linienspektrum als glühendes Gas gekennzeichnet ist.

Das Spektrum zu photographieren ist bisher nur *Pickering* und *Blajko* gelungen. Der erstere erkennt im Spektrogramm hauptsächlich die Linien des Wasserstoffes, was mit unseren Annahmen also gut übereinstimmt. Die beiden Spektrogramme, die *Blajko* erhielt, sind anders: sie enthalten in einer langen Reihe schwacher Linien eine einzelne außerordentlich kräftige, welche wahrscheinlich dem Stickstoff angehört. Dies würde also besagen, daß die *Blajko*schen Meteore in die Stickstoffsphäre eingedrungen waren, während das *Pickering*sche sich in der Wasserstoffsphäre abspielte.

Dämmerungserscheinungen. Ein Beobachter an der Erdoberfläche, für den die Sonne noch unter dem Horizont steht, sieht doch darüber bereits die Atmosphäre vom Sonnenlicht durchstrahlt. In diesem Dämmerungsbogen, der auf die diffuse Reflexion des Lichtes in der Atmosphäre zurückzuführen ist, nimmt nun die Helligkeit nicht gleichmäßig von unten nach oben ab, sondern er besitzt eine Struktur, die in enger Beziehung zu den atmosphärischen Hauptschichten steht. Man kann eine Reihe von immer schwächeren Dämmerungsbögen unterscheiden, die nach Sonnenuntergang nach einander unter den Horizont herabsinken. Der erste Dämmerungsbogen, auch „helles Segment" genannt, verschwindet nach den Messungen von *Miethe* und *Lehmann* gerade unter dem Horizont, wenn die Sonne etwa 8° unter demselben steht; bei Berücksichtigung der Refraktion berechnet sich daraus die obere Grenze der hier in Betracht kommenden reflektierten Schichten zu ca. 11 *km*, woraus hervorgeht, daß dieser Dämmerungsbogen die durchstrahlte Troposphäre repräsentiert. Auf ihn folgt der Hauptdämmerungsbogen, für den die meisten Messungen vorliegen.

Nach einer in *Pernter-Exners* „Meteorologische Optik" gegebenen Übersicht verschwindet dieser Bogen unter dem Horizont, wenn die Sonne etwa 17·4° unter demselben steht. Bei angenäherter Rechnung ergibt sich hieraus für die obere Grenze der betreffenden Luftschichten eine Höhe von 74 *km*. Es handelt sich hier also um die vom Sonnenlicht durchstrahlte Stratosphäre.

Aber auch nach dem Verschwinden dieses Hauptdämmerungsbogens bleibt noch ein weiterer, äußerst schwacher Lichtstreifen von bläulicher Farbe am Himmel sichtbar. Über diesen liegen bisher nur die wenigen Beobachtungen von *See* in Washington vor, aus welchen sich die obere Grenze dieser Schichten zu etwa 214 *km* berechnet. Offenbar handelt es sich hier um die durchstrahlte Wasserstoffsphäre. — Diese Stufen der Lichtreflexion sind in unserer Fig. 37 durch gestrichelte Linien markiert.

Das Zodiakallicht. Das Zodiakallicht erscheint in europäischen Breiten namentlich in den Monaten Januar bis März kurz nach Sonnenuntergang und in den Herbstmonaten vor Sonnenaufgang in Form einer matten, schräg stehenden Lichtpyramide. In den Tropen soll es das ganze Jahr hindurch gleichmäßig sichtbar sein. Genauere Beobachtungen, die unter besonders günstigen Umständen ausgeführt sind, ergeben, daß der Licht-

schimmer sich von der Spitze der Pyramide noch weiter in der Richtung des größten Kreises fortsetzt, am Gegenpunkt der Sonne eine geringe Verstärkung erfährt („Gegenschein“) und den ganzen Himmel umspannt. Die Achse des Zodiakallichtes fällt für unsere Messungen mit der Ebene des Sonnenäquators (7° gegen die Ekliptik geneigt) zusammen.

Über die Natur des Zodiakallichtes standen sich lange Zeit zwei Ansichten gegenüber, deren eine es der Sonne zuwies, während die andere es als zur Erde gehörig betrachtete. Durch die neueren Forschungen, welche die obersten Atmosphärenschichten betreffen, wird dieser Streit gegenstandslos, da nunmehr beides der Fall ist: das Zodiakallicht würde hiernach diejenigen Lichterscheinungen darstellen, welche sich in der Geocoroniumsphäre unseres Planeten sowie ihrer Fortsetzung in den interplanetarischen Raum abspielen, welch letztere zugleich auch die Fortsetzung der äußersten Hülle der Sonnenatmosphäre darstellt. Man kommt auf diese Weise dazu, das Zodiakallicht als einen letzten Dämmerungsbogen im Sinne des vorangegangenen Abschnittes zu betrachten. So beschreibt auch *Pechuel-Loesche* das Zodiakallicht mit den Worten: „Der letzte farbige Abendschimmer geht unmerklich in den milden Silberglanz des Zodiakallichtes über.“

Die spektroskopische Untersuchung des Zodiakallichtes zeigt, daß man es hier wie bei den übrigen Dämmerungsbögen im wesentlichen mit reflektiertem Sonnenlicht zu tun hat: es gibt nämlich ein sogenanntes kontinuierliches Spektrum. *Seeliger* und andere nehmen infolgedessen an, daß die Reflexion an den Partikeln einer kosmischen Staubwolke stattfindet. Da aber andrerseits *Respighi*, *Vogel* und *Wright* im Spektrum des Zodiakallichtes auch die helle Polarlichtlinie gesehen haben, so ist es doch höchst wahrscheinlich, daß wenigstens die hellste Partie dieses merkwürdigen Lichtes, nämlich die schräge, dem Horizont aufsitzende Pyramide, im wesentlichen die äußerste Gashülle der Erdatmosphäre repräsentiert, ein Ergebnis, zu dem auch *F. Schmid* auf Grund seiner langjährigen Beobachtungen gekommen ist.

Die leuchtenden Nachtwolken. Vom Jahre 1885 ab wurden eigentümliche cirrostratusähnliche Wolkengebilde beobachtet, welche schon durch ihre helle Beleuchtung am äußersten Rande des Hauptdämmerungsbogens nach Sonnenuntergang eine ganz ungewöhnliche Höhe verrieten.

Wenn nämlich die Dämmerung soweit vorgeschritten ist, daß bereits die ganze Troposphäre, soweit sie über dem Horizont des Beobachters liegt, beschattet ist, so sieht dieser über dem Ort der Sonne nur noch das äußerst schwache *See*sche Licht über dem Horizont, das nicht hell genug ist, um die Sterne auszulöschen. Wenn nun, wie hier der Fall, im untersten Teile dieser Wasserstoffzone Wolken liegen, so werden diese vermöge ihres starken Reflexionsvermögens intensiv hell erscheinen und sich gegen die dunkle Umgebung wirkungsvoll abheben. Fig. 39 zeigt eine Photographie dieser leuchtenden Nachtwolken, welche von *Störmer* in Christiania in der Nacht vom 27. zum 28. Juli 1909 erhalten wurde.

Die Höhe dieser merkwürdigen Wolken wurde erst von 1887 ab von *Jesse* und *Stolze* auf photogrammetrischem Wege bestimmt. Für das Jahr 1889 fand man im Mittel 83 *km*, für 1890 82 *km*; im ganzen schwankte die Höhe zwischen 70 und 83 *km*.

Von großem Interesse ist die aus den Photographien bestimmbare Geschwindigkeit, mit der diese Wolken einherzogen. Es zeigte sich nämlich, daß in diesen Höhen ein Ostwind von rund 100 *m* per Sekunde herrschte; da Ostwind immer der Rotationsbewegung der Erde entgegengesetzt ist, so besagt dies, daß den leuchtenden Nachtwolken eine erheb-

Fig. 39.



Leuchtende Nachtwolken, Phot. Störmer.
um 12 Uhr nachts am 27.—28. Juli 1909 bei Christiana beobachtet.

lich geringere Rotationsgeschwindigkeit eigen war als der Erdoberfläche, und es wird hierdurch der Schluß nahegelegt, daß diese Luftschichten die Erdrotation nicht mehr vollständig mitmachen. Da die Luftmassen an der Grenze zwischen Tropo- und Stratosphäre natürlich der Erdrotation noch vollkommen folgen müssen, so hätten wir also innerhalb der Stratosphäre eine Zunahme des Ostwindes von Null an ihrer unteren Grenze bis zu etwa 100 *m* pro Sekunde an ihrer oberen Grenze zu erwarten. Dieses Resultat wird auch durch die Beobachtungen der Rauch- und Aschenmengen bestätigt, welche nach dem Krakatauausbruch sich innerhalb der Stratosphäre

ausbreiteten und Anlaß zu den bekannten abnormen Dämmerungserscheinungen gaben: denn für diese ergab sich im Mittel ein Ostwind von 30 bis 40 *m* pro Sekunde.[1])

Die Natur der leuchtenden Nachtwolken kann auch gegenwärtig noch nicht in allen Punkten als völlig aufgeklärt gelten. Erst mehrere Jahre nach ihrer Entdeckung wurde die Vermutung ausgesprochen, die jetzt wohl allgemein angenommen ist, daß auch diese Wolken dem Ausbruch des Vulkans Krakatau in der Sundastraße, der größten Vulkaneruption der geschichtlichen Zeit, entstammen, ebenso wie die erwähnten Staubmassen. Während diese aber bald tiefer sanken und schließlich ganz verschwanden, wurden die leuchtenden Nachtwolken überhaupt erst 2 Jahre nach dem Ausbruch entdeckt, blieben dann mehrere Jahre lang, wenngleich anscheinend schwächer werdend, der Beobachtung zugänglich und sind auch gegenwärtig, wie z. B. die *Störmer*schen Aufnahmen zeigen, noch keineswegs als verschwunden zu betrachten.

Infolgedessen ist auch der Einwand erhoben worden, daß der Zusammenhang mit dem Krakatauausbruch nur ein scheinbarer sei, indem man eben erst seit jener Zeit der Dämmerung und allen damit zusammenhängenden Erscheinungen Aufmerksamkeit geschenkt hatte.

Indessen machen es auch theoretische Gründe in hohem Grade wahrscheinlich, daß der Ursprung der leuchtenden Nachtwolken doch auf eine Vulkaneruption zurückzuführen ist. Es läßt sich nämlich zeigen, daß die relative Feuchtigkeit in jenen Höhen bereits auf unmeßbar kleine Werte gesunken sein muß, so daß eine freiwillige Wolkenbildung ausgeschlossen erscheint. Da nämlich in der Stratosphäre keine vertikalen Mischungen mehr auftreten, so muß der Wasserdampf sich hier ganz ungehindert nach den Gasgesetzen verteilen, ebenso wie die anderen Gase, so daß man ihn von dieser Höhe ab bei der oben besprochenen Berechnung der Zusammensetzung der Luft mitnehmen kann. Rechnet man das Ergebnis gleich in relative Feuchtigkeit um, so kommt man auf folgende Zahlen:

Höhe	11	15	20	25	30	35	40	45	50 *km*
Relative Feuchtigkeit .	50	34	21	13	8	5	3	2	1 %

Wie man sieht, müßte sich die Luft mit zunehmender Höhe hiernach immer mehr von der Sättigung entfernen; so erklärt sich auch die Tatsache, daß im allgemeinen in der Stratosphäre eben keine Wolkenbildung mehr zu beobachten ist. Aber andrerseits geht daraus auch hervor, daß bei 70—80 *km* Höhe nur dann Wolken auftreten können, wenn dort irgend eine Quelle des Wasserdampfes liegt, welche bewirkt, daß der Wasserdampf nicht im Diffusionsgleichgewicht ist. Und diese Quelle kann doch wohl schwerlich eine andere sein als die des Krakatauausbruches. Wenn die ungeheuren Wasserdampfmengen, die damals zweifellos entwickelt wurden, etwa mit einem erheblichen Zusatz freien Wasserstoffes versehen gewesen

---

[1]) *Kiessling*, Untersuchungen über Dämmerungserscheinungen. Hamburg und Leipzig 1888.

wären (was nicht unwahrscheinlich ist, da auch bei isländischen Fumarolen und bei den Gasen des Mt. Pelée auf Martinique 20—25% Wasserstoff festgestellt wurden), so wären es auch verständlich, daß sie gerade die ganze Stickstoffsphäre bis zu der Schichtgrenze bei 70 *km* durchstiegen hätten.

4. Das Polarlicht.

Das früher so geheimnisvolle Dunkel, in welchem uns das Wesen des Polarlichtes verborgen war, ist durch eine Reihe neuerer Arbeiten über diesen Gegenstand in einer Weise gelichtet worden, daß nur noch Detailarbeit übrig bleibt. Wir besitzen nämlich in der erst vor kurzem aufgestellten Korpuskulartheorie den Schlüssel zu einem vollständigen und exakten Verständnis des ganzen Phänomens. Da diese wichtigen Arbeiten erst der jüngsten Zeit entstammen und darum noch nicht in zusammenfassende Darstellungen übergegangen sind, verlohnt es sich doppelt, hier etwas näher auf sie einzugehen.

Bereits *Ångström* und *Paulsen* vermuteten, daß das Polarlicht auf Kathodenstrahlen zurückzuführen sei, welche in der Atmosphäre absorbiert würden und dabei diese zum Leuchten erregen. *Birkeland* war aber der erste, welcher die Vermutung aussprach, daß diese Kathodenstrahlen von der Sonne ausgesandt würden.

Bekanntlich bestehen solche Kathodenstrahlen aus kleinsten, elektrisch geladenen Teilchen, sogenannten Elektronen[1]), welche mit außerordentlicher Geschwindigkeit von der Kathode in der *Crook*schen Röhre abgeschleudert werden. Auch weißglühende Körper entsenden freiwillig Kathodenstrahlen, und dies muß auch bei der Sonne zutreffen. Freilich werden diese Kathodenstrahlen in den meisten Fällen von der Sonnenatmosphäre selber absorbiert und also zurückgehalten, aber in den Fällen, wo die glühenden Massen besonders weit emporsteigen, in den als „Fackeln" bezeichneten hellen Gebieten, vermögen sie anscheinend zu Zeiten diese Schwierigkeit zu überwinden und frei in den Weltenraum hinauszueilen.

Es ist dabei zunächst gleichgültig, ob man an eigentliche Kathodenstrahlen denkt oder an andere materielle Strahlen ähnlicher Art. Bekanntlich bestehen z. B. auch die sogenannten β-Strahlen des Radiums ebenso wie die Kathodenstrahlen aus winzigen, negativ elektrischen Partikeln, nur ist die Geschwindigkeit, mit der sie abgeschleudert werden, noch viel größer als bei jenen (sie kann nahe an die Lichtgeschwindigkeit herankommen). Auch die α-Strahlen des Radiums stellen ähnliche, außerordentlich schnell bewegte materielle Partikel dar, doch ist ihre elektrische Ladung positiv. Es ist zunächst, wie gesagt, gleichgültig, an welche Art von Strahlen man im speziellen denkt; es darf ja keineswegs als ausgeschlossen gelten, daß es noch andere Strahlen gleicher Art gibt, die wir bisher noch nicht haben erzeugen können, und die vielleicht gerade beim Polarlicht die Hauptrolle spielen. Vor allem ist auch wohl anzunehmen, daß es sich hier nicht nur um eine einzelne Strahlenart handelt, sondern daß sämtliche oder

---

[1]) Vgl. 2. Bd. der „Fortschritte": *G. Mie,* Ionen und Elektronen.

doch wenigstens verschiedene derartige Strahlengattungen in Frage kommen. Wir werden indessen der Kürze halber im folgenden nur von Kathodenstrahlen sprechen.

Birkeland war, wie erwähnt, der erste, der erkannte, daß diese Kathodenstrahlen offenbar von der Sonne herstammen; er blieb aber bei der bloßen Vermutung nicht stehen, sondern versuchte in sehr glücklicher Weise, den Vorgang experimentell nachzuahmen. Er brachte in einer großen *Crook*schen Röhre einen kleinen kugelförmigen Eisenmagneten an, welcher die Erde repräsentierte, und exponierte diesen den Kathodenstrahlen. Die Kugel war mit einer Schicht von Platinbariumcyanür überzogen, welches bekanntlich an den Stellen, wo es von Kathodenstrahlen getroffen wird, aufleuchtet. Solange er die Versuche mit einer noch verhältnismäßig großen Kugel von mäßigem Magnetismus ausführte, erhielt er einen leuchtenden Ring um den Äquator der Kugel herum, als er jedoch eine kleinere Kugel von stärkerem Magnetismus wählte, zeigte sich, daß nur bestimmte Stellen der Oberfläche aufleuchten, die in zwei bestimmten Breitenkreisen um die magnetischen Pole herum angeordnet waren. Es trat hier also bereits dieselbe Erscheinung auf, welche beim Polarlicht als die Zone maximaler Häufigkeit bekannt ist.

Die entscheidenden Berechnungen, welche alle Zweifel an der Richtigkeit dieser Hypothese beseitigen, verdanken wir indessen *Störmer*. Dieser führte in einer Reihe von Abhandlungen[1]) die sehr mühsame numerische Auswertung des Strahlenganges für eine große Anzahl von Fällen aus und konnte so zeigen, daß sich alle charakteristischen Eigenschaften des Polarlichts vollständig erklären lassen.

Auf die Berechnungen im einzelnen einzugehen, würde hier zu weit führen. Es sei nur erwähnt, daß sich die Differentialgleichungen für die Bewegung der Elektronen nicht streng integrieren lassen, daß man also nicht imstande ist, die Gleichung ihrer Bahnkurve hinzuschreiben. Man kommt aber wie in vielen anderen Fällen so auch hier praktisch dennoch zum Ziele durch die sogenannte numerische Integration, welche zwar nur eine Näherung darstellt, aber doch eine Näherung, deren Genauigkeit sich beliebig weit treiben läßt.

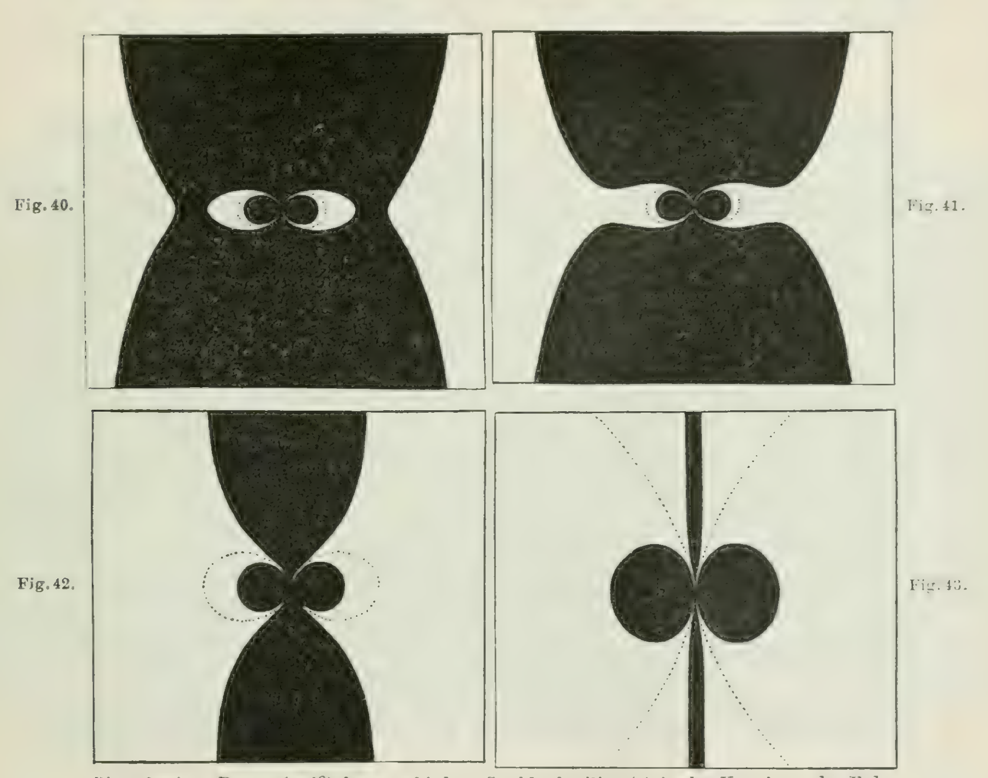
Bei diesen Operationen tritt eine gewisse Integrationskonstante γ auf, die von einer besonderen Bedeutung für das folgende ist. Sie charakterisiert nämlich eine bestimmte „Familie" von Kurven. Wählen wir eine andere Konstante γ, so erhalten wir eine neue Familie, deren einzelne Repräsentanten zwar immer noch unendlich variieren können, sich aber von denen der ersten Familie prinzipiell unterscheiden; auf diese Weise gibt es eine kontinuierliche Folge von Kurvenfamilien, deren jede durch einen bestimmten Wert der Integrationskonstante γ charakterisiert ist, dabei aber doch über unendlich viele Einzelkurven verfügt.

Die wesentlichste Eigenschaft einer solchen Kurvenfamilie ist nun die, daß alle ihre Einzelkurven innerhalb eines bestimmten angebbaren Raumes zu liegen kommen, deren Grenzen sie nicht überschreiten können.

---

[1]) Die wichtigste ist: Sur les trajectoires des corpuscules électrisés dans l'espace sous l'action du magnétisme terrestre, avec application aux aurores boréales. Arch. d. Sciences Phys. et Natur. Genève 1907.

In den folgenden vier Figuren sind z. B. diese Räume für vier verschiedene Familien dargestellt; den Erdmagneten hat man sich in der Mitte der Figuren zu denken, die magnetische Achse in der Zeichenebene (Richtung: von oben nach unten). Die Kathodenstrahlen, die in der Blickrichtung des Beschauers von der Sonne aus auf die Erde zueilen, müssen dann notwendigerweise in demjenigen Raum bleiben, der im Querschnitt in der Figur weiß gelassen ist. Um die räumliche Form zu erhalten, muß man sich diese Figuren um die magnetische Achse der Erde rotierend denken.



Die zulässigen Räume (weiß) für verschiedene Strahlenfamilien (γ) in der Umgebung der Erde.

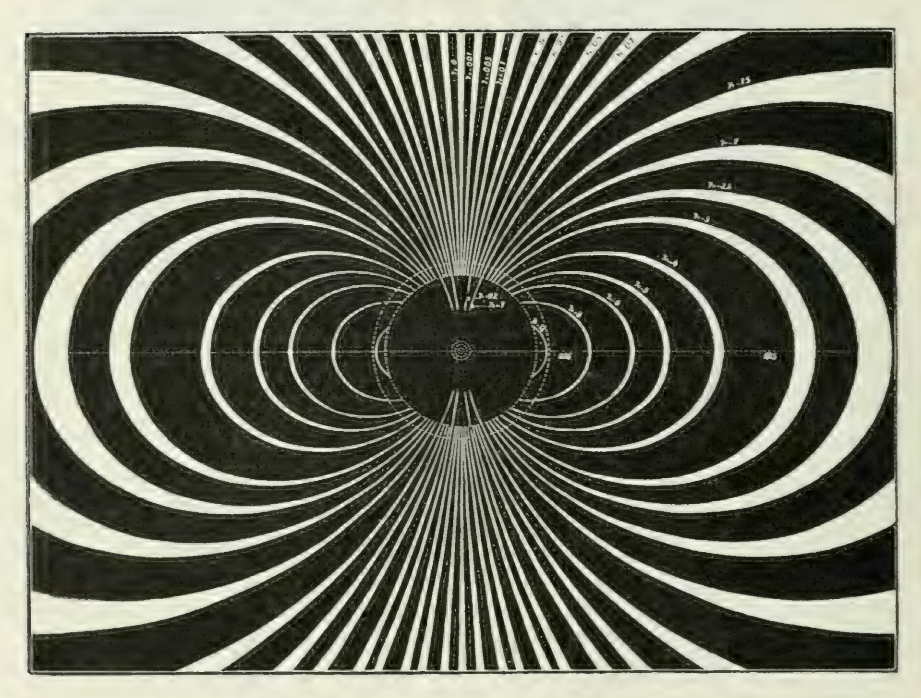
Man sieht, daß in den Fig. 41, 42 und 43 die weißen Räume nur in sehr feinen Ausläufern zur Erde heranreichen, und zwar stets in die Nähe der magnetischen Pole. Die erste Figur (40) aber ist deswegen merkwürdig, weil hier der innere weiße Raum ganz von dem äußeren getrennt ist. Kathodenstrahlen, welche in diesem inneren Raume sich befinden, können sich also überhaupt nicht wieder von der Erde entfernen. Dies spielt bei den später zu besprechenden periodischen Bahnen eine große Rolle.

Wenn diese Figuren eine allgemeine Übersicht über die Form der Räume geben, deren Grenze die Strahlen nicht überschreiten können, so zeigt die folgende Fig. 44 nur den erdnächsten Teil, vereinigt aber dafür die Räume für die verschiedenen Strahlenfamilien.

In dieser Fig. 44 ist auch die Größe der Erde relativ zu den Dimensionen dieser zulässigen Räume durch die punktierten Kreise angedeutet, und zwar würden die beiden äußeren gelten, wenn man es mit α-Strahlen des Radiums zu tun hätte, und die inneren für β-Strahlen und Kathodenstrahlen.

Die räumliche Bahn, welche nun die Elektronen innerhalb dieser weißen Räume beschreiben, ist eine außerordentlich verwickelte. *Störmer* hat sich der Mühe unterzogen, eine große Menge dieser Bahnen zahlenmäßig auszuwerten, und hat dieselben in Modellen zur Anschauung gebracht, von denen die folgenden Figuren einige Proben geben.

Fig. 44.



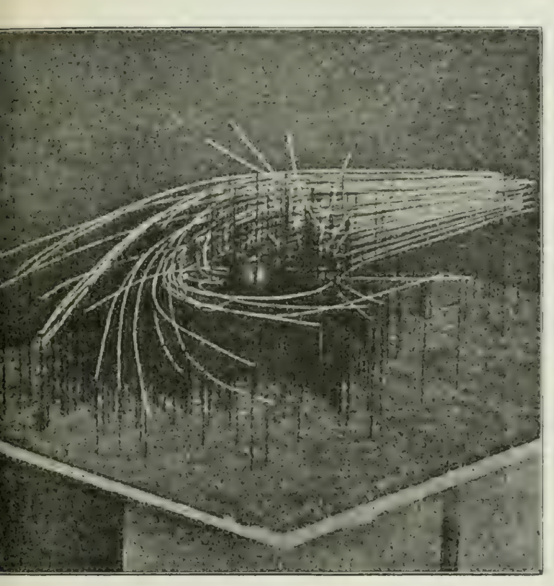
Schnitte der zulässigen Räume für die verschiedenen Strahlenfamilien γ in der Nähe der Erde.

Die erste Fig. 45 zeigt eine stereoskopische Aufnahme eines solchen Drahtmodelles. Es ist dabei nur die eine Hälfte des Strahlenbündels berücksichtigt, welche südlich (in der Figur oberhalb) des magnetischen Äquators verläuft. Man sieht, daß die in der magnetischen Äquatorebene gelegenen Strahlen stets in dieser verbleiben, also ebene Kurven sind, während die Kurven um so mehr „räumliche“ werden, je weiter man nach den Polen hingeht. Man erkennt auch, daß die Kathodenstrahlen sich alle der Erde mehr oder weniger nähern, dabei bisweilen auch Schleifen beschreiben, und sie, namentlich im magnetischen Äquator, mehr oder weniger umkreisen, daß sie sich dann aber wieder von ihr entfernen. Man kann auf diese Weise auf jedem Strahl leicht denjenigen Punkt finden, der der Erde am nächsten liegt.

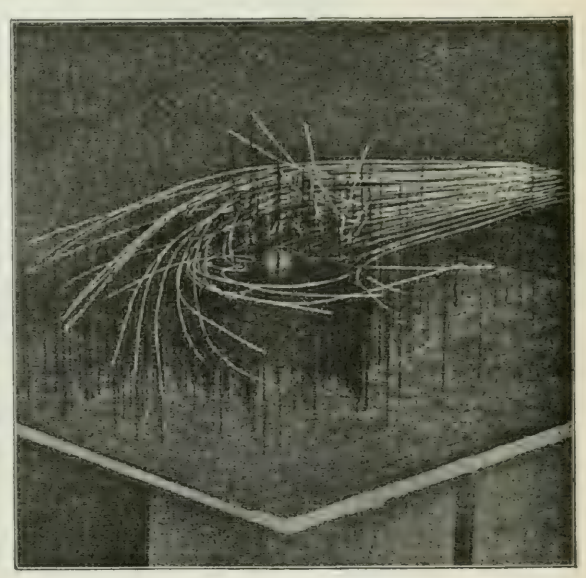
Indessen hat *Störmer* gezeigt, daß es bestimmte bevorzugte Richtungen gibt, bei denen diese Umkehrpunkte immer näher an die Erde heranrücken und schließlich theoretisch im Erdmittelpunkt zu liegen kommen, wo also mit anderen Worten die Strahlen tatsächlich die Erde treffen. Die Fig. 46 zeigt ein Drahtmodell dieser ausgezeichneten Strahlen.

Geht man nun etwas weiter auf den genauen Verlauf derjenigen Bahnen ein, welche der Erde so nahe kommen, daß ihr Umkehrpunkt bereits innerhalb der Erdatmosphäre liegt, so zeigt sich, daß sich diese schraubenförmig um die Kraftlinien des Erdmagnetismus herumwinden. Das folgende Modell von *Störmer* (Fig. 47) zeigt z. B. einen Strahl, der sich zunächst in immer engeren Windungen dem magnetischen Nordpol (in der

Fig. 45.



a



b

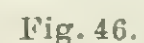
Stereoskopaufnahme des *Störmer*schen Drahtmodells für den Gang der Kathodenstrahlen in der Nähe der Erde.

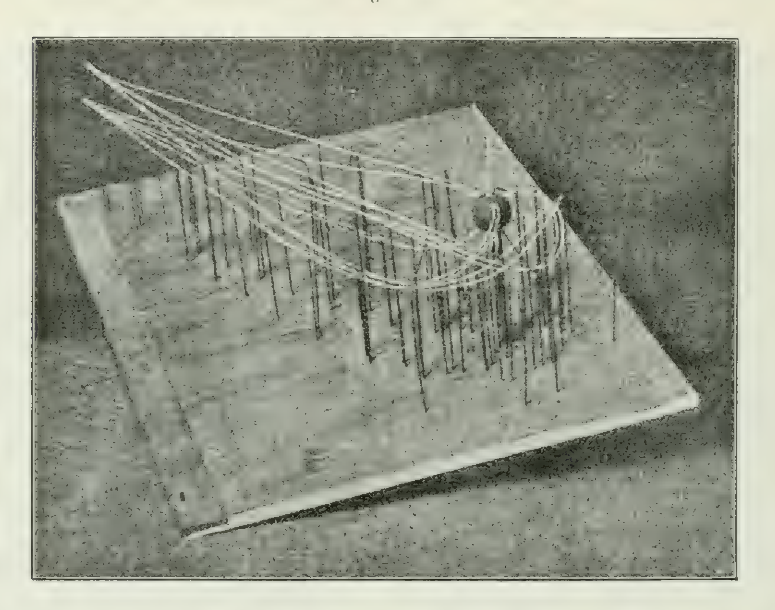
Figur nach unten weisend) nähert, dann umkehrt und sich wiederum in ähnlichen Windungen, aber in einer anderen geographischen Länge dem magnetischen Südpol nähert, um von hier aus wiederum nach dem Nordpol vorzudringen. Er bleibt dabei stets innerhalb des oben besprochenen weißen Raumes, etwa dem inneren Teil der Fig. 40 oder 41 entsprechend.

Bei streng periodischer Bahn würde er beständig auf diese Weise zwischen Nord- und Südpol hin und her pendeln; ist die Bahn aber nur annäherungsweise periodisch, so wird er nach einigen derartigen Vorstößen schließlich durch die noch offene Verbindung mit dem äußeren weißen Raume unserer Fig. 41 hinaustreten und sich nun definitiv von der Erde entfernen. In unserer Fig. 47 ist der Fall dargestellt, wo der Strahl bereits in ziemlich

großer Entfernung von der Erde seine Umkehrpunkte besitzt; Strahlen anderer Art dringen weiter bis zur Erde vor, wo die weißen Räume immer schmaler werden, und werden damit auch selber in eine immer feinere Spitze ausgezogen, je tiefer sie zur Erde herabsteigen. Jeder einzelne Strahl einer Nordlichtdraperie stellt eine derartige, durch teilweise Absorption der Kathodenstrahlen leuchtende Bahn dar.

Berücksichtigen wir, daß wir es niemals mit einem einzigen Kathodenstrahl zu tun haben, sondern stets mit einem mehr oder weniger ausgedehnten Strahlenbündel, welches wahrscheinlich von einer Sonnenfackel seinen Ursprung


Fig. 46.



Drahtmodell der ausgezeichneten Strahlen, welche die Erde treffen.

genommen hat, so ist ersichtlich, daß diese erzeugende Stelle der Sonnenoberfläche gewissermaßen auf der Erdoberfläche durch das Polarlicht abgebildet wird, allerdings in einer außerordentlich verzerrten Weise; sie erscheint nämlich ausgezogen in ein überaus schmales und langes Band, eben die sogenannte Nordlichtdraperie.

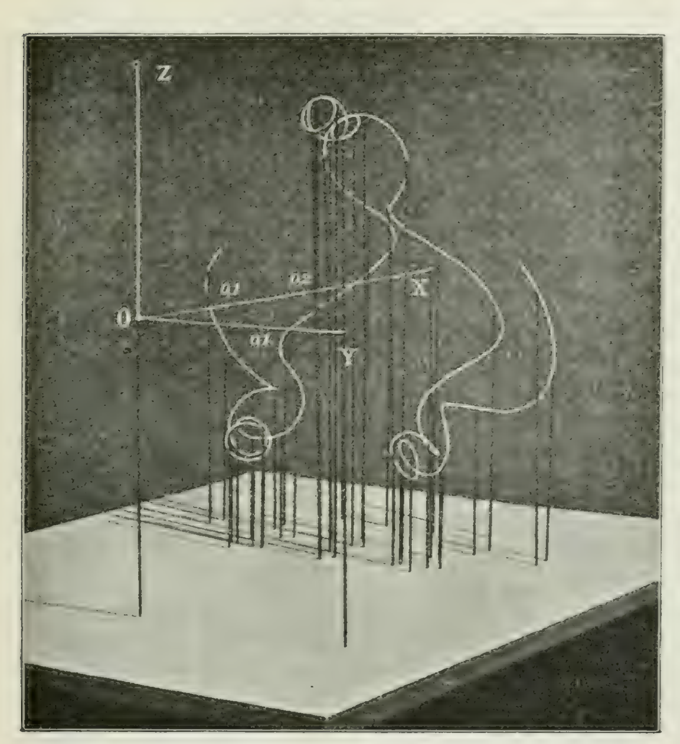
Störmer hat auch Zahlenwerte für die Dimensionen dieses Bandes ausgerechnet, welche in der folgenden Tabelle wiedergegeben sind. ε ist dabei der scheinbare Durchmesser der Emanationsfläche (der „Fackel") auf der Sonne, in Bogensekunden bzw. Minuten.

ε	Breite der Draperie	Länge der Draperie
1″	15 *m*	20 *km*
10″	25 *m*	65 *km*
1′	46 *m*	160 *km*
3′	72 *m*	275 *km*

Diese Zahlen gelten für die Erdoberfläche. Rechnet man sie, was keine Schwierigkeit macht, für eine größere Höhe über der Erde aus, so werden sie nach dem oben Gesagten entsprechend größer.

Nur in einem Punkte schien diese Theorie zunächst zu versagen, nämlich in betreff der Lage der Zone größter Häufigkeit. Diese müßte nämlich theoretisch nur etwa 2 bis höchstens 8° vom magnetischen Pol entfernt liegen, während sie in Wahrheit etwa 20° davon entfernt ist. *Störmer* hat indessen zeigen können, daß diese Abweichung höchstwahrscheinlich auf den Einfluß derjenigen Strahlen zurückzuführen ist, welche in größerem Abstand von der Erde diese in der Äquatorebene in den früher geschilderten Schleifen umkreisen, ohne dabei mit der Erdatmosphäre in Berührung zu kommen. In ihrer Gesamtheit repräsentieren nämlich diese Strahlen einen elektrischen Strom, welcher in einer bestimten Richtung die Erde umfließt; und dieser Strom hat das Bestreben, die Zone der größten Häufigkeit in etwas niedrigere Breiten herabzuziehen. Damit dürfte wohl auch dieser letzte Einwand gegen die Theorie beseitigt sein.

Fig. 47.



Störmers Modell eines Kathodenstrahls, der sich abwechselnd dem Nordpol und dem Südpol der Erde nähert.

Es bedarf wohl keiner Erläuterung, von welcher Wichtigkeit diese exakte Erklärung des Polarlichtes auch für die benachbarten Zweige der kosmischen Physik ist. Denn nicht nur ist auf diese Weise allen meteorologischen Phantastereien über den Zusammenhang von Gewitter und Polarlicht ein Ende bereitet[1]), sondern *Störmer* selbst hat auch bereits hochwichtige Schlußfolgerungen in bezug auf die magnetischen Störungen

[1]) Noch vor kurzer Zeit glaubte man, die Polarlichter stellten eine Art stille Entladung der atmosphärischen Elektrizität dar und ersetzten auf diese Weise die Gewitter im Polargebiet!

aus seiner Theorie gezogen. Wenn nämlich ein besonders reichlicher Schwarm von Kathodenstrahlen aus der Sonne hervorbricht (was wieder mit dem Auftreten von Fackeln und also auch Flecken auf der Sonne zusammenhängt), so repräsentiert er in seiner Gesamtheit einen starken elektrischen Strom um den Erdäquator herum, und zwar, wie unmittelbar einzusehen, einen außerordentlich variablen Strom. Dieser Strom muß offenbar einen „magnetischen Sturm" auf der Erde erzeugen; gleichzeitig zieht er aber auch die Zone maximaler Häufigkeit der Polarlichter in niedrigere Breiten herab, und die Folge ist, daß wir z. B. schon in Mitteleuropa ein Polarlicht sehen. Dies scheint der Zusammenhang zwischen Polarlicht und magnetischen Störungen zu sein. Endlich führt *Störmer* die von *Eschenhagen* gefundenen periodischen „Elementarschwingungen", welche die magnetischen Instrumente zeigen, auf die nahezu periodischen Bahnen der Elektronen zurück, bei welchen diese die Erde mindestens einmal ganz umkreisen und daher nach Ablauf einer gewissen, durch ihre Geschwindigkeit gegebenen Zeit zum zweiten Mal dieselbe Störungsfigur in der Registrierkurve verursachen. Es würde aber zu weit führen, hier auf alle Folgerungen dieser wichtigen Theorie einzugehen.

Aber nicht nur die Frage nach der Natur der Strahlen, die das Polarlicht verursachen, sondern auch die des Spektrums ist in jüngster Zeit seiner Lösung sehr nahe gebracht worden.

Das Kapitel des Polarlichtspektrums ist von jeher ein außerordentlich schwieriges gewesen und war bis vor ganz kurzer Zeit der Tummelplatz der widerstreitendsten Meinungen. So sind speziell auch über die bekannte grüne Polarlichtlinie, deren Wellenlänge 557 $\mu\mu$ beträgt, die verschiedensten Hypothesen aufgestellt worden. Je mehr Beobachtungen zusammenflossen, um so deutlicher zeigte sich, daß das Polarlichtspektrum nicht nur eine außerordentlich große Zahl heller Linien aufweist, deren genauere Positionsbestimmung wegen der Lichtschwäche kaum möglich ist, sondern man erkannte auch, daß die Erscheinung überhaupt keinen völlig konstanten Charakter besaß. Bei der Beurteilung der Messungen muß vor allem Rücksicht genommen werden auf die große Ungenauigkeit; Fehler von 5 $\mu\mu$ (50 Ångström-Einheiten) sind nichts seltenes, so daß ein an die Genauigkeit moderner Laboratoriumsmessungen gewöhnter Spektroskopiker überhaupt nur von Schätzungen sprechen wird. Jedenfalls sind die meisten Identifizierungen mit den Spektrallinien bekannter Elemente vollkommen illusorisch. *Kayser* hebt in seinem Handbuch der Spektroskopie (5. Band, Leipzig 1910) mit Recht hervor, daß man jedes beliebige, einigermaßen linienreiche Spektrum bei einigem guten Willen im Polarlichtspektrum wiederfinden kann.

Aus diesem fast hoffnungslosen Zustand wurde das Problem des Polarlichtspektrums befreit durch die in einem der früheren Kapitel geschilderten Ergebnisse, zu denen die Erforschung der obersten Luftschichten gelangte. Durch die hier nachgewiesene Änderung in der Zusammensetzung der Luft, welche in den höchsten Atmosphärenschichten eintritt, wird mit einem Schlage auch der Schlüssel zum Verständnis des Polarlichtspektrums geliefert.

Von entscheidender Bedeutung muß hiernach die Höhe sein, in welcher sich die Polarlichter abspielen. Dies führt uns zu einem Kapitel, das wohl ebenso schwierig ist wie dasjenige des Spektrums; denn wenn man sich auch nicht, wie einzelne Forscher es tun, auf den Standpunkt zu stellen braucht, daß die Höhenmessungen prinzipiell keinen physikalischen Sinn haben, so ist doch sicher, daß vielfach Irrtümer vorkommen, indem von den beiden Beobachtern nicht dieselbe Erscheinung anvisiert wird. Obwohl z. B. *Paulsen* in Godthaab Höhen zwischen 0·6 und 67·8 *km* maß (14 unter 22 Fällen gaben Höhen innerhalb der Troposphäre!), so sind doch heute noch manche Forscher geneigt, alle Messungen unterhalb etwa 40 *km* als irrtümlich zu interpretieren. Es herrscht hier noch der denkbar größte Widerstreit der Meinungen. Die einen berufen sich auf *Lemström*, welcher mit Hilfe eines auf einem kleinen Berge angebrachten Spitzenapparates angeblich Nordlichtstrahlen von über 100 *m* Länge dicht über dem Erdboden erzeugte, und betrachten dies ebenso wie die oft berichtete Beobachtung, daß leuchtende Nebel vor einer Bergwand, also in den untersten Schichten der Atmosphäre, gesehen wurden, als einen Beweis dafür, daß das Polarlicht keineswegs auf die höchsten Schichten beschränkt ist, sondern bis zum Erdboden herab auftreten kann. Im anderen Lager dagegen, zu welchem gerade die bedeutendsten Theoretiker zählen, hält man alle diese Beobachtungen für irrtümlich; man nimmt z. B. an, daß *Lemström* durch ein wirkliches Nordlicht, das gerade in der fraglichen Richtung am Horizont auftauchte, oder auch durch eine dem Elmsfeuer vergleichbare Erscheinung getäuscht wurde; in den Fällen aber, wo ein leuchtender Nebel vor einer Bergwand sichtbar würde, kann es sich um sekundäre Reflexe eines sonst vorhandenen Polarlichts auf einer Nebelschicht handeln.

Die Höhenmessungen, welche mit zwei Theodoliten von den telephonisch verbundenen Endpunkten einer Basis aus gemacht wurden, sind nicht nur sehr ungenau, sondern führen auch, wie erwähnt, bei der Schwierigkeit einer genauen Bezeichnung des einzustellenden Polarlichts leicht dazu, daß von den beiden Beobachtern verschiedene Punkte des Polarlichts eingestellt werden, wodurch die Messung illusorisch wird. Eine Abhilfe kann hier nur durch Anwendung der photogrammetrischen Methode erzielt werden, welche vor kurzem durch *Störmer* zum erstenmal hat angewendet werden können. Diese Methode umschließt wiederum das Problem der Photographie der Polarlichter überhaupt, welche bekanntlich mit großen Schwierigkeiten verknüpft ist. Nachdem *Brendel* und *Baschin* im Jahre 1900 die ersten, wenn auch noch sehr unvollkommenen Photographien dieser außerordentlich lichtschwachen und dabei schnell variierenden Erscheinungen erhalten hatten, wurden ähnliche Versuche, jedoch ohne nennenswerten besseren Erfolg von *Westmann* und verschiedenen anderen Forschern gemacht. Aber erst 1910 gelang es *Störmer*, hier einen wesentlichen Fortschritt zu erzielen. Da es sich hauptsächlich nur um die Lichtstärke handelte, so benutzte er ein Kinematographenobjektiv und konnte auf diese Weise bereits brauchbare Aufnahmen mit einer Expositionszeit von etwa $^1/_2$ Sekunde erhalten. Unsere

beiden Figuren 48 und 49 geben zwei seiner besten Photographien wieder. Die zirka 150 Höhenmessungen, welche *Störmer* auf diese Weise erhielt, werden in kurzem publiziert sein.

Wenngleich nach dem Vorangegangenen die Höhenmessung des Polarlichts bisher noch sehr im argen liegt, so läßt sich doch eines mit Bestimmtheit aussagen: daß sich besonders häufig und besonders einwandfrei der untere Rand der in Polargebieten so häufigen draperieähnlichen Formen zu etwa 60 *km* Höhe ergeben hat. Diese Höhe von 60 *km* besitzt aber, worauf *Lenard* hingewiesen hat, ein ganz besonderes theoretisches Interesse. Der Luftdruck dort ist nämlich gerade etwa gleich 0·1 *mm* Quecksilber, d. h. er hat gerade denjenigen Wert, bis zu welchem wir die *Crook*schen

Fig. 48.



Photographie einer Polarlichtdraperie. Phot. Störmer.

Röhren evakuieren müssen, damit Kathodenstrahlen auftreten sollen; solange der Druck noch höher ist, werden diese Kathodenstrahlen sofort absorbiert, die Luft ist dann völlig undurchlässig für sie. Man sieht sofort, wie dies auf die Atmosphäre anzuwenden ist: Wenn die Kathodenstrahlen, von der Sonne kommend, auf dem von *Störmer* berechneten Weg in die Atmosphäre eintreten, so werden sie in den obersten Schichten derselben nur zum Teil absorbiert, wobei sie dort die Gase zu einem entsprechenden schwachen Leuchten erregen. Zu je höherem Luftdruck sie aber hinab gelangen, um so stärker wird die Absorption und die Leuchterscheinung, und in der Höhe von 60 *km* muß dieselbe plötzlich ganz aufhören, hier muß

der letzte Rest der Kathodenstrahlen völlig absorbiert werden. Es kann als eine schöne Bestätigung der Theorie betrachtet werden, daß sich aus den Beobachtungen so häufig gerade diese Höhe von 60 *km* für den Unterrand der Draperie ergibt.

Erinnert man sich an das, was früher über das Umbiegen der Strahlen nach einer bestimmten Annäherung an die Erde gesagt wurde, so ist einleuchtend, daß die eben besprochenen Strahlen, welche in 60 *km* Höhe vollständig absorbiert werden, prinzipiell zu unterscheiden sind von denen, welche bereits in größerer Höhe ihren Umkehrpunkt besitzen und die Atmo-

Fig. 49.



Photographie einer mehrfachen Draperie eines Polarlichts. Phot. Störmer.

sphäre wieder verlassen. Hieraus erklärt sich das verschiedene Aussehen der beiden Hauptgruppen, nämlich der Polarlichter strahliger Struktur und nicht strahliger Struktur: die letzteren, die sogenannten homogenen Bögen, welche nach *Paulsens* Messungen auf Island mindestens 400—500 *km* über der Erdoberfläche liegen, stellen solche umkehrende Strahlen dar, während die typischen Draperien bei 60 *km* Höhe total absorbiert werden.

Die Strahlen einer Nordlichtdraperie reichen nach dem bisher Gesagten im allgemeinen von der Geocoroniumsphäre durch die Wasserstoffsphäre hindurch in die Stickstoffsphäre hinein, woraus eine große Mannigfaltigkeit des Spektrums resultiert.

Im untersten Teile treten die Stickstofflinien in den Vordergrund, von denen namentlich mehrere sehr helle im violetten Teil des Spektrums liegen; da der unterste Teil der Strahlen stets der hellste ist, so sieht man sofort, daß namentlich im photographischen Spektrum die Stickstofflinien den Hauptbestandteil ausmachen müssen. Schon die Okularbeobachtungen der älteren Zeit (vgl. die Tabelle weiter unten) lassen sie im sichtbaren Teil des Spektrums in voller Deutlichkeit erkennen; namentlich gehören hierher die stärkeren Linien 631, 530, 471 und 428 $\mu\mu$. Die letzteren, sowie namentlich die bereits unsichtbare, aber photographisch sehr intensive Linie 391 wurden bereits von *Westmann*, *Paulsen* (der auch noch 357 und 337 erhielt) und anderen photographiert. Nachdem man die Ungenauigkeit der Okularbeobachtungen eingesehen hatte, ging man in neuerer Zeit immer mehr darauf aus, die Okularbeobachtungen gänzlich durch die Photographie des Spektrums zu ersetzen. In der Tat dürften die photographischen Bestimmungen wenigstens bei den stärkeren Linien erheblich genauer sein. Es ist aber doch zu beachten, daß dies nur für die geringe Zahl derjenigen Linien gilt, die sich wirklich hinreichend kräftig in der Photographie abbilden. Auch gibt die Photographie hauptsächlich nur den violetten Teil des Spektrums. Die geringe Lichtstärke des Objekts bildet auch hier ebenso wie bei der direkten photographischen Abbildung der Polarlichter eine große Schwierigkeit, welche gegenwärtig noch keineswegs überwunden ist. Infolgedessen ist auch die vielfach zum Ausdruck kommende Geringschätzung der Okularbeobachtungen einstweilen noch gänzlich verfrüht, und eine umfassendere Untersuchung des Polarlichtspektrums muß heute noch immer im wesentlichen die Resultate dieser Okularbeobachtungen zugrunde legen. Die größte zusammenhängende Beobachtungsreihe hat *Carlheim-Gyllenskjöld* bei einer Überwinterung auf Spitzbergen geliefert. Wir geben seine Messungen, die mit zwei verschiedenen Spektroskopen erhalten wurden, in der Tabelle auf folgender Seite wieder. Die Anzahl der Fälle, in denen eine bestimmte Linie beobachtet wurde, kann dabei als Maß für die Intensität gelten.

Die oben erwähnten Stickstofflinien sind hierin bereits sehr deutlich zu erkennen. Indessen ist ihr exakter Nachweis doch hauptsächlich erst mit Hilfe der Photographie geführt worden, da eben die markantesten Stickstofflinien gerade im violetten und ultravioletten Teil des Spektrums liegen. Hauptsächlich den Arbeiten *Paulsens* ist es zu verdanken, daß die Stickstofflinien im Polarlichtspektrum als völlig einwandfrei nachgewiesen betrachtet werden können.

Schwieriger gestaltet sich der Nachweis der Wasserstofflinien; da nach unseren früheren Rechnungen der Gehalt an Wasserstoff nirgends größer als etwa 60—70% wird, so können auch die Wasserstofflinien nur viel schwächer vertreten sein, d. h. sie werden entsprechend seltener zur Beobachtung kommen. Wir werden also hier etwas vorsichtiger zu Werk gehen müssen, zumal da uns die Photographie jetzt ganz im Stich läßt.

Im sichtbaren Teil kommen vier Wasserstofflinien in Betracht, welche der Helligkeit nach geordnet (unter gewöhnlichen Bedingungen) bei 656

Polarlichtspektrum nach *Carlheim-Gyllenskjöld.*

Spektroskop I		Spektroskop II		Spektroskop I		Spektroskop II	
Wellenlänge	Zahl der Beobachtungen	Wellenlänge	Zahl der Beobachtungen	Wellenlänge	Zahl der Beobachtungen	Wellenlänge	Zahl der Beobachtungen
657	1	–	Hα	523	14	542	13
645	1	—	—	518	5	—	—
631	11	—	—	515	6	513	5
612	7	—	—	504	2	505	5
604	4	—	—	500	1	500	3
594	3	595	1	—	—	493	7
578	14	575	1	487	1	484	6 Hβ
566	12	—	—	480	2	—	—
557	19	558	1 (Hauptlinie)	470	1	471	16
554	3 }			464	1	464	8
551	8 }	547	5	—	—	458	3
548	6 }			—	—	445	3 } (Hγ)
545	3 }			—	—	424	2 }
541	5 }	541	7	—	—	411	2 Hδ
538	6 }						
535	9	535	9				
530	8 }	530	16				
526	9 }						

(Hα), 486 (Hβ), 410 (Hδ), 434 (Hγ) liegen. *Frankland* und *Lockyer* haben indessen nachgewiesen, daß bei sehr niedrigen Drucken, wie sie für uns allein in Frage kommen, die rote Linie 656 mehr und mehr zurücktritt und die grüne 486 die hellste wird, so daß sich schließlich das ganze Spektrum auf diese eine Linie reduzieren kann, wie dies nach *Scheiner* übrigens auch bei den Sternnebeln beobachtet wird.

Sehen wir von diesem Gesichtspunkt aus die angeführten Beobachtungen durch, so finden wir diejenige der Wasserstofflinien, bei der die größte Intensität zu erwarten ist, nämlich 486, im ganzen siebenmal beobachtet. Sie erscheint somit als relativ sicher nachgewiesen. Dagegen ist die Linie 656 auf der schwedischen Expedition nur ein einziges Mal beobachtet worden. Die Linie 410 wurde zweimal beobachtet. Die Identifizierung der vierten Linie 434 stößt auf große Schwierigkeiten, einmal, weil bei ihr von vornherein keine große Intensität zu erwarten ist, so daß es fraglich erscheint, ob man ihre Anwesenheit postulieren soll, und dann, weil an dieser Stelle des Polarlichtspektrums offenbar mehrere Linien sehr dicht nebeneinander liegen, die bei der Ungenauigkeit der Messungen schlecht oder gar nicht zu trennen sind. Namentlich liegt hier eine der drei photographischen Hauptlinien, nämlich die Stickstofflinie 428.

Die Wasserstofflinien können hiernach wohl auch ohne Optimismus gegenüber der Zuverlässigkeit der Beobachtungen als vorhanden gelten. Gerade der Umstand, daß diese Linien in den zu erwartenden Helligkeitsabstufungen auftreten, läßt eine Verwechslung ausgeschlossen erscheinen.

Von großem Interesse ist auch die folgende Zusammenstellung von *Carlheim-Gyllenskjöld*, nach welcher sich der Fuß der Strahlen von den oberen Partien derselben spektroskopisch unterscheidet.

Spektrum	Zahl der Linien	
	im Gipfel der Strahlen	im Fuß der Strahlen
Luftspektrum	9	8
Spektrum des Stickstoffs an der Anode	2	4
„ „ „ „ „ Kathode	10	14
„ „ Wasserstoffs	3	1
Unbekannt	8	4

Während also die Zahl (d. h. die Intensität) der Stickstofflinien mit wachsender Höhe abnimmt, nimmt diejenige der Wasserstofflinien zu, genau wie es nach der Theorie sein sollte. Zugleich sei darauf hingewiesen, daß auch die unbekannten Linien, zu denen namentlich die Hauptlinie 557$\mu\mu$ gehört, mit der Höhe zunehmen.

Die Beziehungen, welche sich für diese viel umstrittene Hauptlinie des Polarlichtspektrums ergeben, sind von ganz besonderem Interesse. Eine Reihe hervorragender Spektroskopiker, wie *Huggins, Ramsay, Schuster* und andere wiesen darauf hin, daß diese Linie innerhalb der Fehlergrenze mit der Hauptlinie des Kryptons zusammenfällt, und hielten sie infolgedessen für identisch damit. Diese Hypothese mußte aber aufgegeben werden, als man erkannte, daß gerade die homogenen Polarlichtbögen (ohne strahlige Struktur), die sich durch ihre große Höhe auszeichnen, nur diese eine Linie im Spektrum zeigen, ohne daß irgend welche anderen Linien hinzuträten. Durch diesen hauptsächlich aus *La Cours* Beobachtungen abgeleiteten Zusammenhang ist jedenfalls nachgewiesen, daß die Entstehung dieser rätselhaften Linie gerade in den höchsten Schichten der Atmosphäre zu suchen ist; da aber das Krypton zu den schwersten Gasen in der Atmosphäre gehört, so muß der an sich schon außerordentlich geringe Betrag, den es in der Luft am Erdboden ausmacht, schon in relativ geringen Höhen ganz verschwinden.

Nach einer zuerst von *Scheiner* ausgesprochenen und sodann von mir ausführlich durchgearbeiteten Hypothese ist die Hauptlinie des Polarlichtspektrums auf ein unbekanntes, sehr leichtes Gas, das Geocoronium, zurückzuführen, welches in der Erdatmosphäre noch oberhalb des Wasserstoffs Platz greift und wahrscheinlich mit dem Coronium der Sonnenatmosphäre identisch ist, wie bereits in einem früheren Kapitel ausgeführt wurde.

Es ist einleuchtend, daß man bei gleichzeitiger Höhenmessung und spektroskopischer Untersuchung das Polarlicht geradezu als ein von der Natur selbst im großen Stil veranstaltetes Experiment benutzen kann, um uns vollständigen Aufschluß über die Zusammensetzung der obersten Atmosphärenschichten zu verschaffen, und es ist zu hoffen, daß bald derartige simultane Beobachtungen ausgeführt werden. Es wird dann auch möglich sein, die verschiedenen Spektra der atmosphärischen Schichten deutlicher von einander zu trennen, und vor allem auch das Spektrum des Geocoroniums mit größerer Vollständigkeit zu ermitteln, von welchem wir bisher mit Sicherheit nur eine einzige Linie anzugeben wissen.

Erblichkeitsforschung.

Von **W. Johannsen**, Kopenhagen.

I.

Das Wesen der biologischen Erblichkeit hat man von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart meistens als einen Übertragungsvorgang aufgefaßt. Die biologischen Vererbungshypothesen haben immer und immer erklären sollen, wie „erbliche Eigenschaften" von den Eltern beziehungsweise Großeltern usw. auf die Kinder „übertragen" werden können. Und dabei hat man namentlich solche Eigenschaften im Auge gehabt, welche für die betreffenden Individuen persönlich charakteristisch oder jedenfalls für die spezielle Rasse oder enger begrenzte Sippe (Familie) eigentümlich waren. Die allgemeinen Speziescharaktere dagegen interessierten weit weniger. Daß Menschen Menschen und Pferde Pferde erzeugen, ist wohl meistens als selbstverständlich betrachtet worden; ob, beziehungsweise in welchem Grade, persönliche Eigenschaften aber — wie z. B. Nasenform und Augenfarbe oder etwa Schnelläufigkeit — „auf die Nachkommen überführt werden", solche Fragen haben immer Interesse geweckt und sind seit den ältesten Zeiten Gegenstand des Nachforschens und Nachdenkens gewesen.

Schon bei *Hippokrates* findet sich eine Auffassung, die bei *Darwin* kaum weiter entwickelt ist: „der Samen geht von dem gesamten Körper aus, gesunder von gesunden Teilen, krankhafter von krankhaften Teilen. Wenn nun von Kahlköpfigen Kahlköpfige, von Blauäugigen Blauäugige, von Schielenden Schielende in der Regel erzeugt werden . . . was hindert da, daß von Langköpfigen Langköpfige gezeugt werden?" Die persönlichen Eigenschaften werden die Beschaffenheit des „Samens" (weiblichen sowie männlichen) beeinflussen und solcherart die Beschaffenheit der Kinder mitbestimmen; dies ist die herkömmliche, uralte Auffassung des Vererbungsvorganges.

Die persönliche Beschaffenheit des Individuums wird demnach die Hauptsache sein; man drückt den Nachkommen sein persönliches Gepräge auf. Völlig gelingt dies aber nicht; man hat offenbar verschieden große „Vererbungskraft", die den „Grad der Erblichkeit" mitbestimmt. Man spricht auch hier von größerer oder kleinerer „Individualpotenz" als

besondere Eigenschaft eines Zeugers — wie viel ist nicht über Individualpotenz in der Pferdezucht geschrieben —, und man hat wohl auch von Variabilität als einer der Erblichkeit entgegenwirkenden „Kraft“ oder „Fähigkeit“ der Lebewesen geredet.

Indem man nun auch bemerken mußte, daß eine Eigenschaft des Vaters oder der Mutter sich manchmal gar nicht bei den Kindern zeigte, dafür aber bei Enkeln auftreten konnte, wurden die Erblichkeitserscheinungen noch mehr verwickelt. Man sprach in solchen Fällen von „latenter“ Erblichkeit oder „schlummernden Anlagen“, beziehungsweise von „Atavismus“ oder „Rückschlag“ auf weiter entfernte Vorfahren. Eine ganze Reihe von Kräften oder Naturwirksamkeiten scheinen bei den launischen Übertragungserscheinungen erblicher persönlicher Eigenschaften tätig zu sein.

In diesem Wirrwarr waren die Ursachen bei dem einzelnen Fall der Erblichkeit nicht zu klären und ein Überblick der Umstände, unter denen größere oder geringere Ähnlichkeit zwischen Eltern und Nachkommen zu erwarten war, war nicht zu erhalten. Die Erblichkeitsforschung mußte als Statistik betrieben werden, um überhaupt aus einer rein empirischen Kasuistik sich heben zu können. Der Begründer der wissenschaftlichen Erblichkeitsstatistik, *Francis Galton*, sagt denn auch, daß die wissenschaftliche Erblichkeitsforschung sich mit Geschwisterreihen und größeren Populationen zu beschäftigen hat und diese als Einheiten behandeln muß, daß dagegen die individuellen Fälle wenig berücksichtigt werden können. Die Auffassung der Erblichkeit als Übertragung der persönlichen Eigenschaften auf die Nachkommen mußte zur Statistik führen und dadurch auch zu statistischen Definitionen des biologischen Erblichkeitsbegriffs. Erblichkeit wird als der Grad von Ähnlichkeit zwischen Eltern und Kindern aufgefaßt oder, präziser ausgedrückt, als Korrelation zwischen der elterlichen persönlichen Beschaffenheit und der persönlichen Beschaffenheit der Kinder. Und in erweitertem Sinne bedeutet Erblichkeit die Korrelation zwischen dem Grade der Verwandtschaft und dem Grade der Ähnlichkeit gegebener Organismen.

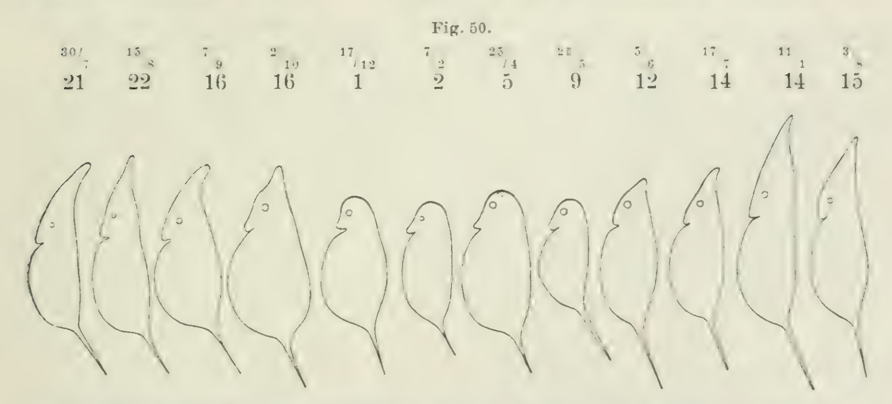
Die statistische Erblichkeitsforschung, von *Galton* eingeleitet und von *Karl Pearson* und seiner sogenannten „biometrischen“ Schule weitergeführt, hat vielfach höchst interessante Resultate gezeitigt. Nebst der Entwicklung verbesserter mathematischer Methoden für das Studium der Variationserscheinungen hat die biometrische Schule namentlich auch die „Eugenic“-Bewegung in England hervorgerufen, eine Bewegung für Rassenverbesserung in den menschlichen Populationen, deren Bedeutung noch nicht beurteilt werden kann. Die Eugenicbewegung, welche über nicht geringe Mittel verfügt, sucht zunächst die Erblichkeitsverhältnisse der extremen Elemente der Bevölkerung klarzulegen und wird im Laufe einiger Jahre oder Jahrzehnte unzweifelhaft über ein Material verfügen, das für soziologische Fragen hoffentlich wertvoll sein wird.

Wir werden sehen, daß die statistische Forschungsweise für ein biologisches Verständnis der Erblichkeitserscheinungen ganz ungenügend

ist, und so mag es immerhin auch scheinen, daß die Eugenicbewegung besser täte, nicht allzu einseitig statistisch vorzugehen. Die Berechtigung dieser Aussprache wird aus dem folgenden hervorgehen.

Zunächst muß daran erinnert werden, daß die Entwicklung der älteren Naturgeschichte in der Betrachtung der persönlichen Eigenschaften der in der Natur vorgefundenen beziehungsweise gesammelten Individuen fußt. Man ordnet, beschreibt und „bestimmt" die eingeheimsten Käfer, Schmetterlinge, Pilze oder höhere Pflanzen nach Spezies und Gattung oder gar nach Subspezies und Varietät usw. Dabei ist es zum großen Teile Konvenienzsache geblieben, was zu einer „Spezies" gerechnet werden darf oder soll. Wir brauchen darauf nicht einzugehen. Aber die Geschichte der beschreibenden Naturstudien zeigt uns, daß recht oft persönlich stark abweichende Organismen, welche zu zwei ganz verschiedenen Spezies gerechnet worden sind, dennoch als systematisch identisch anzusehen sind.

Fig. 50.



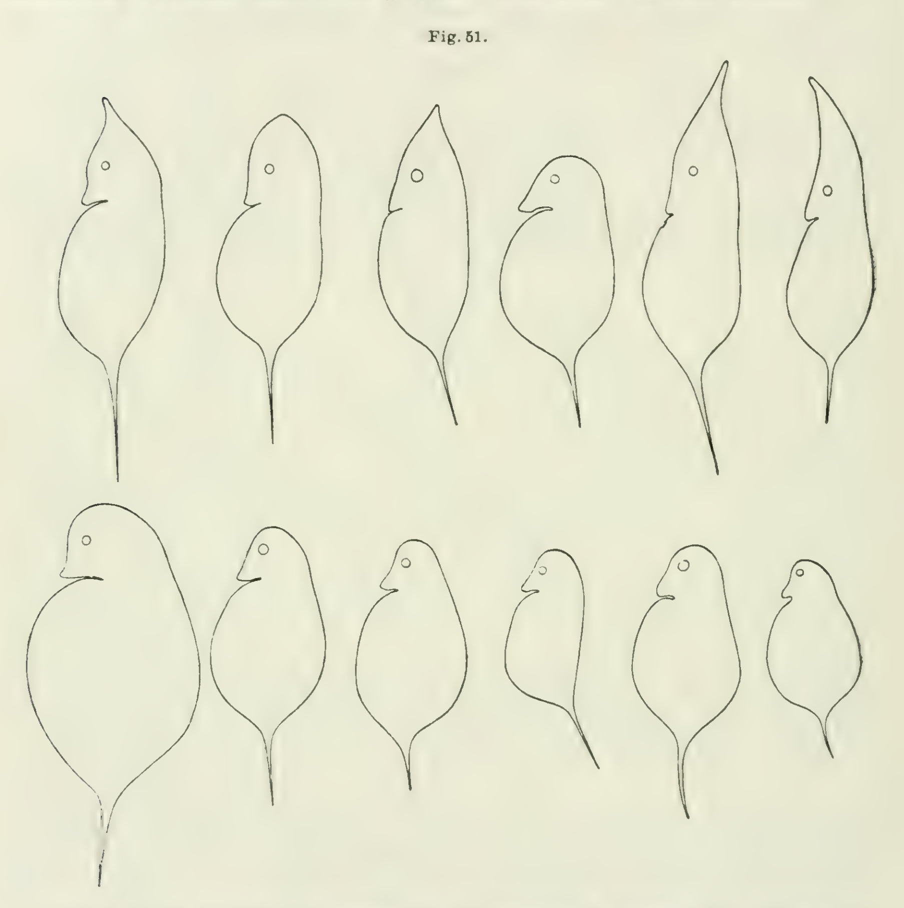
Hyalodaphnia cucullata. Saison-Variationen in einem dänischen See (Furesö); die Form sowie die Länge des Kopfes sind nach der Jahreszeit höchst verschieden. Die oberen Zahlen geben das Datum an, die untere Zahlenreihe bezeichnet die Wassertemperatur. (Nach *Wesenberg-Lund*.)

Wir gedenken z. B. nur der wirtwechselnden Rostpilze: daß gewisse Aecidium-„Spezies" mit gewissen Uredo- und Puccinia-„Spezies" eine zusammenhängende Formserie ausmachen, ließ sich nicht aus den unmittelbar erkennbaren Eigenschaften dieser Formen voraussagen. Aus der Zoologie können wir ebenfalls viele Beispiele anführen.

Betrachten wir die modernen limnologischen Planktonuntersuchungen, wie sie z. B. durch *Wesenberg-Lunds* interessante Arbeiten uns vorliegen. Hier finden wir, daß die Daphnien (Kleinkrebse) der Seen recht verschieden aussehen, je nachdem die Wassertemperatur höher oder niedriger ist. Die beistehende Fig. 50 illustriert das in sehr deutlicher Weise. Der „Typus" der Daphnien ist innerhalb eines einzigen Sees nach der Temperatur variabel. Vergleicht man nun verschiedene Seen, so erhält man im Sommer den Eindruck, als ob recht verschiedene lokale „Rassen" existierten; im Winter aber finden sich keine solchen Rassenunterschiede (vgl. Fig. 51). Von dem rein deskriptiven Standpunkt des hervorragenden

Kenners dieser Erscheinungen ist es naheliegend, diese Tatsache so auszudrücken: Die verschiedenen „Sommerrassen" fallen im Winter zur selben gemeinsamen Rasse zurück. Von diesem Standpunkt aus ist eben die „Rasse" nur der Inbegriff aller Individuen, welche nach ihrer äußeren Erscheinung zwanglos demselben „Typus" zugeordnet werden können.

Fig. 51.



Daphnia hyalina. Obere Reihe: Sommerformen von verschiedenen dänischen Seen. Untere Reihe: Winterformen von denselben Seen; die Winterformen haben ungefähr gleichen Typus. (Nach *Wesenberg-Lund.*)

Die „Rasse" ist hier ganz ausschließlich auf die rein äußere Erscheinungsform gegründet, wie es ja auch im Anfang der naturgeschichtlichen Forschung stets der Fall war; erst eingehendere Untersuchungen können die „wahren" Typenunterschiede näher präzisieren.

Das Wort „Typus" gehört nun wohl zu den am meisten mißbrauchten Wörtern, und ganz besonders hat dieses Wort in der Biologie vielfach verschiedene Anwendung gefunden. Die Organismen, wie sie in der Natur auftreten oder wie sie sich in Züchtungsexperimenten manifestieren, lassen

sich fast immer leicht nach irgend einer Übereinstimmung ihrer äußeren Erscheinung einteilen, so daß man Gruppen ähnlicher Organismen erhält. Jede solche Gruppe hat in bezug auf die in Frage kommenden Eigenschaften, die bei den betreffenden Individuen höchstens graduell verschieden sind, eine charakteristische durchschnittliche Beschaffenheit, die man eben als das „Typische" oder den „Typus" der Gruppe bezeichnet hat. Ganz präzis kann man einen solchen Typus als Erscheinungstypus oder Phänotypus bezeichnen. Diese Bezeichnung präjudiziert gar nichts, indem sie ausdrücklich den rein deskriptiven Sinn des Begriffs „typische Erscheinung" hervorhebt. Der Phänotypus ist der beobachtete Typus der Erscheinung, weiter nichts. Während das Wort „Typus" sonst einen sozusagen tieferen Sinn haben könnte, betont das Wort Phänotypus in schärfster Weise, daß nur von rein äußeren Erscheinungen die Rede ist. Das aber ist, wie wir sehen werden, ein sehr großer Vorteil für die weitere Diskussion über Erblichkeit.

Zunächst benutzen wir das Wort Phänotypus für die in Fig. 50 und 51 dargestellten Fälle. Fig. 50 zeigt, daß der Phänotypus der betreffenden Daphnien im Sommer und Winter verschieden ist; Fig. 51 zeigt Phänotypenunterschiede bei den Daphnien verschiedener Seen im Sommer, zugleich aber, daß kein deutlicher Phänotypenunterschied im Winter zu erkennen ist.

Wir können nun sagen, daß die Naturgeschichte ganz wesentlich mit Phänotypen gearbeitet hat. Und dasselbe gilt für die Erblichkeitsforschung früherer Zeit. Es wird zweckmäßig sein, die Hauptergebnisse dieser Forschung kurz darzustellen, wie sie sich im Lichte der *Galton*schen Statistik präsentieren.

Die *Darwin*sche Lehre von der Selektion war auf die praktischen Erfahrungen der Züchter gegründet. Bekanntlich besagt sie — wir berücksichtigen hier nur die Erblichkeitsfrage —, daß die größere oder kleinere Abweichung vom „Typus" der Spezies oder Rasse (wir können hier gleich „Phänotypus" sagen), welche ein Individuum zeigt, meistens auch bei den Nachkommen des Individuums vorgefunden werden kann, wenn auch häufig in abgeschwächtem Grade. Und demgemäß kann mittelst einer durch mehrere Generationen fortgesetzten Auslese (Selektion) der in bestimmter Richtung vom „Typus" abweichenden Individuen eine Änderung dieses Typus, d. h. eine neue Rasse erhalten werden. Durch Selektion läßt sich der „Typus" in die Selektionsrichtung verschieben — das ist die fundamentale Auffassung in der *Darwin*schen Lehre, was die Erblichkeit betrifft.

Es ist deshalb vollständig richtig, wenn *Pearson* sich folgendermaßen ausspricht: Ist der Darwinismus eine wahre Anschauung, d. h. sollen wir die Evolution mittelst natürlicher Auslese in Verbindung mit Erblichkeit beschreiben, so ist dasjenige Gesetz, das klar und bestimmt die typische Beschaffenheit der Nachkommen als Funktion der Beschaffenheit der Vorfahren ausdrückt, ein Grundstein der Biologie und zugleich die Basis, auf der die Erblichkeitslehre eine exakte Disziplin wird.

Der Forscher aber, welcher das gesuchte Gesetz gefunden haben sollte, war *Francis Galton,* ein Vetter *Darwins. Galton* betrachtet die einzelnen „Eigenschaften" jede für sich, und hat besonders mit solchen Eigenschaften gearbeitet, die Gradesunterschiede bei verschiedenen Individuen zeigen, also z. B. Dimensionen und anderen zahlenmäßig auszudrückenden Charakteren. Hier trifft man die anscheinend am leichtesten zugänglichen Erblichkeitsfragen: sind die Intensitätsunterschiede in bezug auf irgend einer solchen Eigenschaft erblich?

Galton (mit *Quetelet* u. a. als Vorgänger) lehrte die Biologen, die vorhandenen Populationen (Bestände) statistisch zu behandeln. Für die einzelne in Betracht gezogene Eigenschaft hat eine gegebene Population, falls sie überhaupt einheitlich behandelt werden kann, ein typisch-charakteristisches Maß, die „Mediane" *Galtons*, wofür wir aber jetzt den Mittelwert aller Messungen setzen. Und die Individuen lassen sich nun meistens ziemlich symmetrisch um den Mittelwert gruppieren, derart, daß die meisten Individuen nahe dem Mittelwert stehen; je weiter vom Mittel, desto sparsamer wird die Repräsentation.

Als Beispiel sei nach *Quetelet* der Brustumfang von 1516 Soldaten hier angeführt. Die Messungsresultate sind in Klassen mit dem Spielraum von einem Zoll geordnet, und zwar so, daß Werte von z. B. 27·5—28·5 Zoll als 28 bezeichnet wurden. Es wurde gefunden:

Brustumfang in Zoll:	*28*	*29*	*30*	*31*	*32*	*33*	*34*	*35*	*36*	*37*	*38*	*39*	*40*	*41*	*42*
Anzahl Soldaten:	2	4	17	55	102	180	242	**310**	251	181	103	42	19	6	2

Hieraus der Mittelwert $M = 34{\cdot}99$ Zoll, und, als Maß der Variabilität, die Standardabweichung $\sigma = \pm 2{\cdot}12$ Zoll.

Galton führte auch eine rationelle Messung der Variabilität ein. Für diesen Zweck benutzte er die Grenzen zu beiden Seiten des Mittelwertes, welche die beiden extremen Viertel abschneiden, und welche somit die mittlere Hälfte aller Individuen umfassen. Wir brauchen darauf nicht einzugehen. Jetzt benutzt man als Maß der Variabilität die Standardabweichung, auch wohl „Streuung" genannt, die als „Wurzel der mittleren quadratischen Abweichung vom Mittelwert" definiert werden kann. Auch diese Bestimmung können wir hier umgehen; für nähere Studien sind die betreffenden Berechnungen aber unumgänglich. Hier sei nur hervorgehoben, daß die als Maß der Variabilität von vielen Biologen noch immer recht allgemein benutzte sogenannte „Variationsweite" (die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Maß der untersuchten Individuen, also der Spielraum, innerhalb welchem die sämtlichen Varianten sich finden) ganz wertlos ist. Die Variationsweite ist nämlich in hohem Grade vom Zufall abhängig und besonders auch von der Anzahl der untersuchten Individuen, während die Standardabweichung — ebensowenig wie *Galtons* Variationsmaß — diese Mängel nicht hat.

Die ganze Verteilungsart in einer solchen symmetrischen Variationsreihe läßt sich am einfachsten durch ein Diagramm wie die nebenstehende

Fig. 52 illustrieren: in der Mitte hat man die Individuen, welche dem Mittelwerte aller Messungen nahe kommen; nach links die „Minusabweicher", die seltener und seltener werden, je größer die Abweichung wird, und nach rechts in entsprechender Weise die „Plusabweicher".

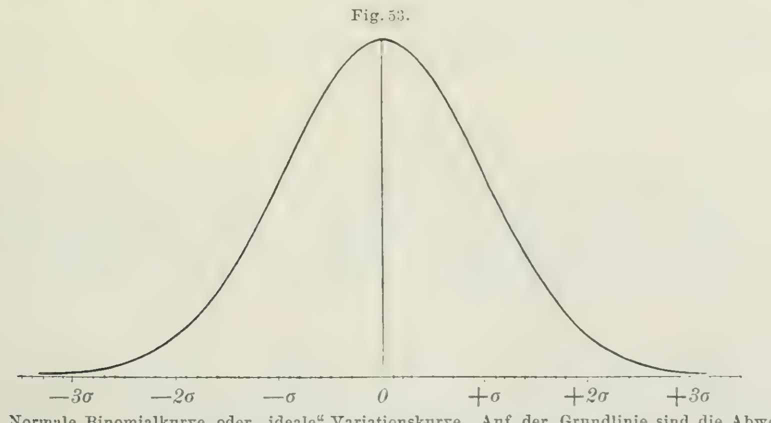
Fig. 52.

Eine Serie von Bohnen, nach Längenmaß in Klassen mit einem Spielraum von 0·5 *mm* geordnet und in umgestülpten Reagensgläschen montiert. Links die kürzesten, rechts die längsten Bohnen. Halbschematisch; die Störung der Verteilungsform durch die nach rechts zunehmende Größe der Bohnen ist korrigiert; die Höhe der Bohnensäule in jedem Glase entspricht der betreffenden Anzahl.

Die Fig. 53 stellt die ideale „theoretische" Variationskurve dar, die sogenannte Binomialkurve, die das Vorbild der symmetrischen Variantenverteilung zu beiden Seiten des Mittelwertes abgibt, und dessen Zahlenverteilung ein wichtiger Ausgangspunkt für die mathematische Behandlung der Variabilität der Organismen gewesen ist. Man sieht, daß die Verteilungsart in Fig. 52 einigermaßen gut der theoretischen Kurve entspricht; und das oben gegebene Zahlenmaterial dürfte sehr gut mit der Kurve harmonieren.

Auf diese symmetrische und sonst auch der binomialen Kurve entsprechende Verteilung der Varianten um ihren Mittelwert hat man viel Gewicht gelegt. Diese Verteilungsart hat gewissermaßen als Ausdruck dafür gegolten, daß die betreffende Population einheitlicher Natur sei, einem

Fig. 53.

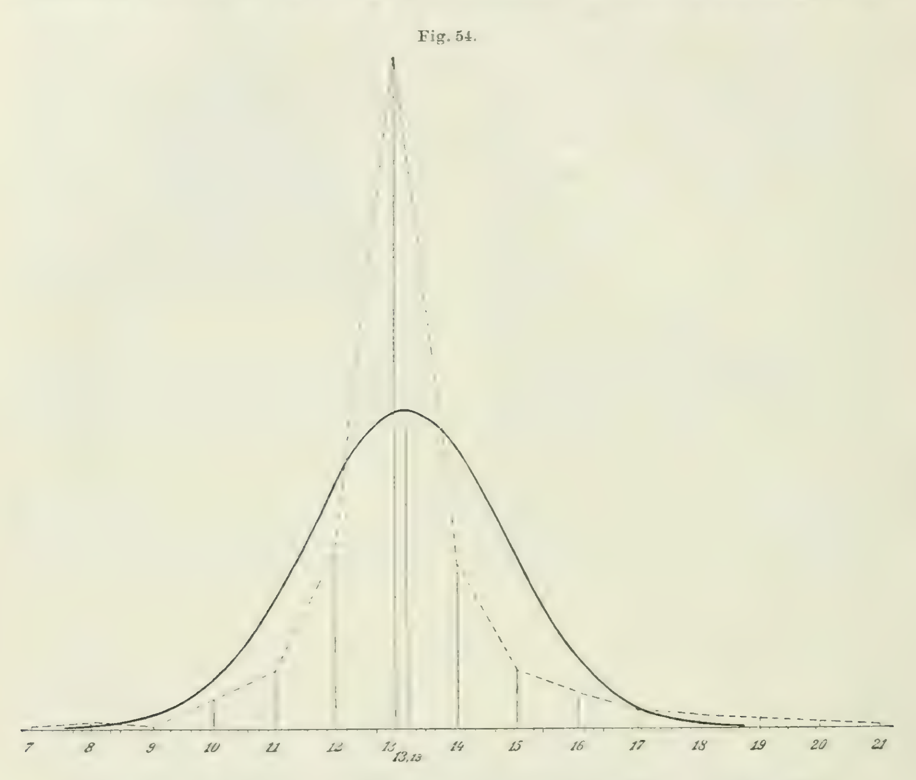


Normale Binomialkurve oder „ideale" Variationskurve. Auf der Grundlinie sind die Abweichungen vom Mittel markiert. 0 = Mittelwerte, σ = die Standard-Abweichung.

einzigen „Typus" zugehörend. Wenn man Abweichungen von dieser normalen Verteilung fand, glaubte man sich berechtigt, oft recht weitgehende Schlüsse zu ziehen. Bedeutende Schiefheit in der Verteilung hat man häufig durch die Annahme zweier „Typen" in ungleich starker Repräsentation

erklären wollen — und das mag in vielen Fällen auch richtig sein. Auch die besonders häufig bei Pflanzenmaterial vorkommende Erscheinung, daß die Variantenverteilung, wenn auch ziemlich symmetrisch, so doch übermäßig „hochgipfelig“ ist (vgl. Fig. 54), hat man als Zeichen einer Heterogenität im Material auffassen wollen. Und wo gar zwei- oder mehrgipfelige Verteilung vorkommt, war es ja ganz deutlich, daß mehr wie ein „Typus“

Fig. 54.



Hochgipfelige Verteilung der Varianten, mit der normalen Binomialkurve verglichen. Nach *Ludwigs* Zählungen der Randblüten von Chrysanthemum segetum. Die Zahlen geben die Varianten (Anzahl von Randblüten) an (13·18 ist der Mittelwert); die Höhen der Senkrechten entsprechen der Anzahl der betreffenden Individuen. Die ganze Verteilungsart, illustriert durch die punktierte Linie, welche die „gefundene Kurve“ darstellt, weicht recht wesentlich von der normalen Kurve ab. Die Normalkurve referiert sich selbstverständlich hier auf den gefundenen Mittelwert und die gefundene Standard-Abweichung.

im Material stecken mußte (Fig. 55). Berühmt als Beispiel einer solchen zweigipfeligen Verteilung sind die von *Bateson* untersuchten Ohrwürmer der Farneinseln. Die männlichen Individuen zeigen hier zwei Typen von Scherenlänge, wie es die folgende Tabelle illustriert:

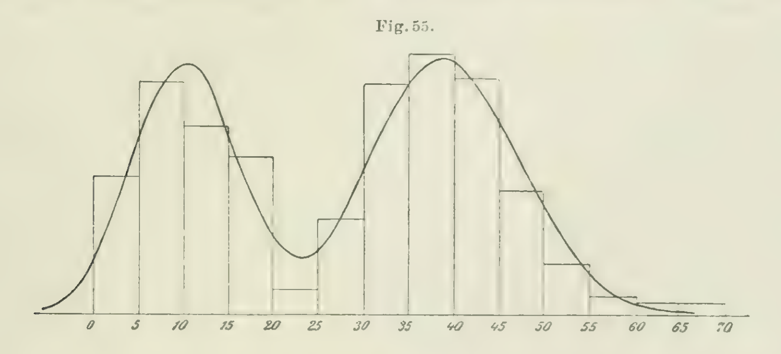
Scherenlänge in Millimeter:	*3*	*3·5*	*4*	*4·5*	*5*	*5·5*	*6*	*6·5*	*7*	*7·5*	*8*	*8·5*	*9*
Anzahl der Individuen:	64	125	52	7	12	24	42	42	90	68	44	8	6

Dem einen „Typus“ entspricht eine Scherenlänge von etwa 3·5 *mm*, dem anderen eine solche von etwa 7 *mm* Länge.

Durch das messende Vorgehen beim Studium der Variabilität erhielt der Begriff „Typus" außer seiner älteren naturhistorischen qualitativdeskriptiven Bedeutung nunmehr eine statistische Bedeutung als ein Zentrum, um welches sich die Variationen der in Frage kommenden Individuen gruppieren. Solche Zentren oder Kerne der Variation sind als das eigentlich feste oder jedenfalls charakteristische, eben „typische" Maß der betreffenden Bestände aufgefaßt.

Die persönlichen Eigenschaften werden demnach durch ihre Abweichung vom „Typus" charakterisiert; und wir verstehen jetzt die Definition der Erblichkeit, wie ein früherer eifriger Anhänger der biometrischen Schule sie geben konnte, als Korrelation zwischen „Abweichung" der Eltern und „Abweichung" der Kinder. Es war diese Definition, in der wir oben statt „Abweichung" die „persönliche Eigenschaft" einsetzten.

Fig. 55.



Zweigipfelige Kurve eines Gerstenbestandes, welcher mit Schartigkeit (fehlendem Kornansatz) in den Ähren befallen ist. Die Zahlen geben die — mit einem Spielraum von 5 geordneten — Schartigkeitsprozentklassen an; die Rechtecke entsprechen der Anzahl Individuen jeder Klasse (wie im Diagramm Fig. 52). Für beide Gipfelbezirke ist eine Normalkurve zum Vergleich eingezeichnet. Der Mittelwert des ersten Bezirks ist etwa 10%, des zweiten etwa 38%.

Und nun wird es leicht, das Hauptresultat von *Galtons* Untersuchungen in seiner prinzipiellen Bedeutung zu fassen. Von der landläufigen Überzeugung ausgehend, daß die persönlichen Eigenschaften erblich seien, suchte *Galton* den Grad der Erblichkeit zahlenmäßig festzustellen, indem er die „Abweichung" der Kinder als Funktion der „Abweichung" der Eltern bestimmen wollte. Es genügt, die Untersuchung der Körperlänge bei seinem englischen Material anzuführen. Dieses bestand aus 204 Elternpaaren und deren 928 erwachsenen Kindern. Die Schwierigkeiten und Fehlerquellen der Untersuchung brauchen hier nicht beleuchtet zu werden, mit Ausnahme der Tatsache, daß die Frauenhöhen nicht direkt mit Männerhöhen verglichen werden können. *Galton* hatte schon früher gefunden, daß die durchschnittliche Höhe (Körperlänge) der Männer 1·08mal größer als die durchschnittliche Höhe der Frauen ist; und darum multipliziert er alle Frauenhöhen mit 1·08, um sie auf Männerhöhe zu reduzieren. Die in Rechnung zu führende mittlere Körperlänge eines Ehepaares ist demnach,

wenn wir mit ♀ die Höhe der Frau und mit ♂ die Höhe des Mannes bezeichnen. (♀ . 1·08 + ♂) : 2. Dieses Maß ist das betreffende „Elternmittel“.

Galton ging ferner davon aus, daß Mann und Weib im ganzen einen gleich großen Einfluß auf die erblich bestimmte Beschaffenheit des Kindes haben (was richtig ist), und war auch davon überzeugt, daß die Körperlänge eine Eigenschaft ist, welche, insoweit Erblichkeit im Spiel ist, in allen Graden intermediär zwischen den gegebenen Extremen realisierbar ist, etwa wie alle Temperaturen zwischen 0° und 100° durch Mischen von kaltem und warmem Wasser realisierbar sind. Diese letztere Voraussetzung kann nun nicht ohne weiteres angenommen werden; es stört das aber die unmittelbaren Resultate *Galtons* gar nicht.

Die einfachste Übersicht dieser Resultate gibt die folgende Tabelle, in welcher das Gesamtmaterial sowohl nach Elternmitteln als nach Kindern geordnet ist. In *Galtons* Originalmitteilung ist das Material nach beiden Richtungen in Klassen mit nur einem Zoll als Spielraum eingeteilt; hier ist die Tabelle mit Benutzung von 2 Zoll als Spielraum zusammengezogen. Aus technischen Gründen, die wir nicht zu erwähnen brauchen, wurden die Kinder etwas anders eingeteilt als die Elternmittel. Die Klassengrenzen sind für diese 63″, 65″, 67″ usw; mit 64, 66 usw. als Klassenwerte, während für die Kinder die Grenzen 59·7″, 61·7″, 63·7″ usw. sind mit 60·7″, 62·7″ usw. als Werte der Klassen. Die Tabelle sieht so aus:

Körperlänge der Elternmittel	Körperlänge der Kinder								Summe	Mittlere Körperlänge der Kindergruppen
	60·7″	*62·7″*	*64·7″*	*66·7″*	*68·7″*	*70·7″*	*72·7″*	*74·7″*		
64″	2	7	10	14	4				37	65·29″
66″	1	15	19	56	41	11	1		144	66·89″
68″	1	15	56	130	148	69	11		430	67·77″
70″	1	2	21	48	83	66	22	8	251	68·97″
72″			1	7	11	17	20	6	62	70·83″
74″							4		4	(72·70″)
Summe . .	5	39	107	255	287	163	58	14	928	

Aus dieser Tabelle berechnet, wird der Mittelwert der Eltern 68·36″ und der Mittelwert der Kinder 68·09″. Ein Blick auf die äußerste linke und die äußerste rechte Seite der Tabelle zeigt sofort, daß mit steigender elterlicher Körperlänge — von 64″ bis auf 72″ (die Repräsentation für 74″ ist zu gering, um speziell betrachtet zu werden) — eine Steigerung der mittleren Körperlänge der entsprechenden Kindergruppe parallel geht, und zwar von 65·29″ bis auf 70·83″.

Schon die allergröbste Behandlung der Tabelle zeigt aber sogleich, daß die Steigerung der Kinderlängen nicht mit der Steigerung der Elternlängen Schritt hält. Der Steigerung von 64″ bis auf 72″, also 8″, entspricht nur eine Steigerung bei den Kindern von 65·29″ bis auf 70·83″, also 5·54″, welches rund zwei Drittel der elterlichen Steigerung ausmacht.

Bei feinerer Behandlung des gegebenen Materials wird man finden, daß Elternmittel, welche vom Mittelwert der Elterngeneration abwichen, Kinder erhielten, die ihrerseits, durchschnittlich betrachtet, vom Mittelwert der Kindergeneration in gleicher Richtung wie ihre Eltern abwichen, jedoch in geringerem Grade, nämlich durchgehends nur 0·63 des Betrages der elterlichen Abweichung.

Demnach „erben" die Kinder etwa 0·63 der „persönlichen Beschaffenheit" (Abweichung vom Typus) ihrer Elternmittel. Der Rest (0·37 der Abweichung) verliert sich bei den Kindern: d. h. die Kinder nähern sich dem „Typus" mit dem Betrage von 0·37 der Abweichung des Elternmittels. Diese Näherung bezeichnet man als „Rückschlag" zum Typus (der Rasse). Und der ganze Betrag der elterlichen Abweichung verteilt sich demgemäß durchschnittlich solcherart: Erbe 0·63; Rückschlag 0·37.

Galton suchte nun ferner den Rückschlag als Einfluß der früheren Generationen aufzufassen: und in rein statistischer Weise haben er und seine Nachfolger versucht, den durchschnittlichen Einfluß jeder Vorfahrengeneration näher zu präzisieren. Darauf brauchen wir aber gar nicht einzugehen. Wichtiger war es, daß *Galton* selbst auch experimentell arbeitete, und zwar mit Samen der wohlriechenden Platterbse, Lathyrus odoratus. Für die Erblichkeit der Samengröße fand er das Verhältnis 0·31 als „Erbe" und also 0·69 als „Rückschlag". Diese Zahlen sind andere als die für Menschen gefundenen Werte: aber sie bestätigen die Lehre vom Rückschlag und Erbe im allgemeinen und gaben der Auffassung weitere Stützen, daß die persönlichen Eigenschaften das eigentlich „Erbliche" sind.

Galtons „Rückschlagsgesetz" (oder „Regressionsgesetz", wie es auch genannt worden ist, indem es ja die Regression — hier in bezug auf Ähnlichkeit — der Kinder auf die Eltern präzisiert) hat man nun, besonders von seiten der englischen biometrischen Schule, als das Fundamentalgesetz der Erblichkeit angesehen, und es mußte als feste Stütze der *Darwin*schen Selektionslehre gelten, wie auch als experimentelle Grundlage der Auffassung, daß die Evolution kontinuierlich, durch ganz gleichmäßige Übergänge ohne sprungweise Änderungen vonstatten gehen kann. Die Auffassung der persönlichen Beschaffenheit als das „Erbliche" hängt unlösbar mit der Auffassung einer kontinuierlichen Evolution zusammen: und das dritte Moment in diesem Bunde ist die Lehre der Erblichkeit erworbener Eigenschaften, d. h. die Auffassung, daß die während der persönlichen Entwicklung von den Faktoren der Umgebung hervorgerufenen Eigentümlichkeiten erblich sind. Diese Auffassung ist als ganz selbstverständlich anzunehmen, sobald es feststeht, daß die persönliche Beschaffenheit an sich das „Erbliche" ist.

Die Frage der Gültigkeit des *Galton*schen Gesetzes hat deshalb unzweifelhaft eine grundlegende Bedeutung für das weitere Studium der biologischen Hauptprobleme. Es muß darum merkwürdig erscheinen, daß 14 Jahre vergingen, bevor eine nähere experimentelle Prüfung der *Galton*schen Angaben ins Werk gesetzt wurde. Teilweise ist dies wohl dadurch

bedingt, daß Biologen meistens eine gewisse Scheu vor Zahlen und Mathematik haben.

In der festen Überzeugung, daß *Galtons* Gesetze Ausdrücke biologischer Fundamentalverhältnisse seien, fing ich vor etwa 12 Jahren an, Experimente mit Bohnen, Gerste, Erbsen u. a. zu unternehmen, nicht nur um die speziellen Werte für „Erbe“ und „Rückschlag“ bei diesen Objekten zu bestimmen, sondern auch um neue Beispiele zur Illustration der *Galton*schen Gesetze zu gewinnen; denn *Galtons* für Lathyrus mitgeteiltes Zahlenmaterial war gar nicht so gleichmäßig, wie es zu wünschen war. Zunächst fand ich eine ganz gute Bestätigung der *Galton*schen Angaben. Es genügt ein einziges Beispiel anzuführen, nämlich die Erblichkeit des Samengewichtes brauner „Prinzeßbohnen“; eine Bohnensorte, die ganz wie die von *Galton* benutzten Platterbsen Selbstbefruchter sind. Nach Aussaat von verschieden schweren Samen des Jahrgangs 1901 wurden 1902 Nachkommengruppen geerntet, deren Samengewichte aus der folgenden Tabelle — ein Seitenstück zu der *Galton*schen Tabelle S. 80 — hervorgehen.

Erblichkeit des Samengewichts in einer Bohnenpopulation.

Gewicht der Mutterbohnen	Gewicht der Tochterbohnen in Milligramm									Summe	Mittleres Gewicht der Töchtergruppen
	10	*20*	*30*	*40*	*50*	*60*	*70*	*80*	*90*		
20 mg	—	1	15	90	63	11	—	—	—	180	43·78 *mg*
30 „	—	15	95	322	310	91	2	—	—	835	44·47 „
40 „	5	17	175	776	956	282	24	3	—	2238	46·17 „
50 „	—	4	57	305	521	196	51	4	—	1138	48·94 „
60 „	—	1	23	130	230	168	46	11	—	609	51·87 „
70 „	—	—	5	53	175	180	64	15	2	494	56·03 „
Summe . .	5	38	370	1676	2255	928	187	33	2	5494	

Auch hier ist eine deutliche Erblichkeit zu konstatieren: Vergleicht man die beiden äußersten Kolonnen der Tabelle, so sieht man sofort, daß die Steigerung des Gewichts der Mutterbohnen stets mit einer Steigerung des Gewichts der Tochterbohnen verbunden ist, und zwar entspricht der Steigerung von 20—70, also 50 *mg*, bei den Mutterbohnen, eine Steigerung bei den Tochterbohnen von 43·78—56·03, also 12·25 *mg*. Daraus erhält man 12·25 : 50 = rund $^1/_4$ als Erblichkeitsziffer. Eine genauere Behandlung der Zahlen ergibt 0·27 als Erbe (Regression) und demnach 0·73 als Rückschlag. Das stimmt ziemlich gut mit *Galtons* Angaben für Lathyrus (0·31 beziehungsweise 0·69), und indem auch andere Objekte Resultate ergaben, die sich zwanglos den angeführten Daten anreihen, könnte man glauben, *Galtons* Gesetz sei ein wirklich fundamentales biologisches Gesetz.

Dem ist aber gar nicht so! *Galtons* Gesetz ist nur ein Ausdruck dafür, daß die betreffenden Populationen nicht wirklich einheitlich waren. Denn, wenn man mit einheitlichem Material arbeitet, zeigt sich kein solches Gesetz. Durch das Studium der Arbeiten des berühmten französischen

Pflanzenzüchters *Louis de Vilmorin* beeinflußt — in welchen Arbeiten die Lehre von der Individualpotenz auf pflanzlichem Gebiet angewendet wurde — hielt ich in meinen Experimenten die Samen jeder einzelnen Pflanze getrennt für sich und wurde damit zur Arbeit mit „reinen Linien" geführt. Die Nachkommen eines einzigen selbstbefruchteten Individuums, das nicht selbst Bastardnatur hat, habe ich eine „reine Linie" genannt. Dabei ist es Voraussetzung, daß die Nachkommen auch fortan sich selbst befruchten — sonst hört die Linie auf rein zu sein.

Bei sicher selbstbestäubenden Pflanzenspezies beziehungsweise -Rassen ist es ein leichtes, reine Linien zu erhalten; jedes Individuum, für sich vermehrt, bildet den Ausgangspunkt einer reinen Linie. Und man kann sagen, daß eine Population von Selbstbefruchtern (insofern sie nicht Bastardnatur haben) eigentlich aus lauter reinen Linien besteht, deren Individuen wohl miteinander vermengt sein können, jedoch nicht miteinander in Verbindung treten oder sich gegenseitig „verunreinen". So ist es eben mit der hier erwähnten Bohnenpopulation: sie besteht aus sehr vielen reinen Linien. Unter diesen mögen eine große Anzahl ganz identische Beschaffenheit haben, andere aber zeigen größere oder kleinere Unterschiede.

Es wurden nun aus der Bohnenpopulation gleich von Anfang eine größere Anzahl reiner Linien gebildet. Einige hatten großes Samengewicht, andere kleines; wieder andere waren mittelgroß usw. — um gar nicht von charakteristischen Formverschiedenheiten oder Dimensionen (schmal, breit, lang, kurz usw.) zu reden. Innerhalb dieser reinen Linien zeigt sich nun eine Variabilität, die nur wenig der Variabilität der Gesamtpopulation nachsteht. Somit war es sehr leicht, mit den reinen Linien ganz dieselben Erblichkeitsuntersuchungen vorzunehmen, wie sie mit den Populationen unternommen worden waren.

Die Resultate einer stattlichen Reihe solcher Untersuchungen waren nun sehr schlagend. Es genügt, ein einziges Beispiel anzuführen; alle Versuche ergaben im Prinzip das gleiche. Aus einer reinen Linie der schon erwähnten Bohnen wurden im Jahre 1903 Sortimente verschieden schwerer Samen ausgesäet, ganz dem in der obigen Tabelle erläuterten Versuche entsprechend. Das Ernteresultat ist aus der folgenden Tabelle ersichtlich.

Erblichkeit des Samengewichts in einer reinen Linie.

Gewicht der Mutterbohnen	Gewicht der Tochterbohnen in Milligramm									Summe	Mittleres Gewicht der Töchtergruppen
	10	*20*	*30*	*40*	*50*	*60*	*70*	*80*	*90*		
30 mg	—	1	—	2	7	15	19	7	—	51	63·53 *mg* ± 1·56
40 „	—	5	8	41	145	357	202	9	—	767	59·34 „ ± 0·34
50 „	1	4	25	126	461	1150	565	59	3	2394	59·51 „ ± 0·19
60 „	—	—	17	82	329	820	367	18	—	1633	59·14 „ ± 0·23
70 „	—	—	1	8	11	72	39	3	—	134	61·12 „ ± 0·80
Summe . .	1	10	51	259	953	2414	1192	96	3	4979	59·45 *mg* ± 0·13

Ein Blick auf die beiden extremen Seiten der Tabellen zeigt sofort, daß der Steigerung des Mutterbohnengewichts hier keine Steigerung des Gewichts der Tochterbohnen entspricht! Die Unregelmäßigkeiten der rechten Kolonne sind als Zufälligkeiten zu betrachten, wie die den Mittelwerten beigefügten Angaben ihres „mittleren Fehlers" zeigen. Genauer behandelt ergibt sich aus dieser Tabelle die Zahl 0 (eigentlich ÷ 0·013) als „Erbe" und demnach 100 als „Rückschlag". In Worten gesagt: In der reinen Linie ist keine Erblichkeit der persönlichen Beschaffenheit gefunden; sondern alle Nachkommengruppen gehörten in gleichem Grade dem Typus der Linie an!

Für Leser, die mit statistischen Methoden vertraut sind, seien hier einige Bemerkungen über die drei als Beispiele gegebenen Tabellen angeknüpft. Diese Tabellen sind als Korrelationstabellen geordnet; die Erblichkeit tritt hier als Korrelation zwischen der persönlichen Beschaffenheit der Eltern und deren Nachkommen hervor. Mit Berechnung nach *Bravais*, wie sie *Yule* in klarster Weise organisiert hat, findet man für den Korrelationskoeffizienten (r) und für die daraus abgeleitete Regression (R) der Kinder auf die Eltern folgende Werte:

in *Galtons* Population . . (S. 80) $r = + 0·449$; $R = + 0·625$
in der Bohnenpopulation . (S. 82) $r = + 0·336$; $R = + 0·270$
in der reinen Linie . . . (S. 83) $r = ÷ 0·011$; $R = ÷ 0·013$

Während also die Populationen ganz sichergestellte Korrelation und Regression zeigten, ist nichts davon in der reinen Linie zu spüren; die kleinen negativen Werte sind offenbar nichts als Ausdrücke der Variabilität im Material (der mittlere Fehler des Korrelationskoeffizienten, $r = ÷ 0·011$, ist hier $\pm 0·014$!)

Alle meine anderen Versuche stimmen ganz mit dem angeführten überein: in reinen Linien hat Auslese der gewöhnlichen Plus- oder Minusabweicher niemals eine erbliche Wirkung gehabt, selbst nicht nach fortgesetzter Selektion in vielen Generationen. Und diese Resultate haben allmählich von recht verschiedenen Seiten Bestätigung gefunden, sowohl von biologischen Forschern als von seiten der rationell arbeitenden Züchter. Hier können die Arbeiten von *Fruwirth* erwähnt werden, die mit Erbsen u. a. selbstbestäubenden Pflanzen ausgeführt sind. Und es muß hervorgehoben werden, daß die schwedische Saatzuchtanstalt in Svalöf schon lange ähnliche Erfahrungen gemacht hatte, die aber natürlicherweise nicht ein wissenschaftliches Interesse beanspruchen konnten, so lange die Richtigkeit der *Darwin*schen Selektionslehre und des *Galton*schen Gesetzes unangefochten dastand. Erst die rechte Auflösung des *Galton*schen Gesetzes, wie wir sie gleich erwähnen werden, gibt den gelegentlich früher gemachten Erfahrungen über Mißerfolge der Selektion ein Interesse allgemeiner Art.

Ferner haben eine Reihe sorgfältiger Untersuchungen verschiedener Forscher die Unwirksamkeit der Selektion in allen näher untersuchten

Fällen nachgewiesen, wo man mit wirklich einheitlichem Material arbeitete. Dieses gilt besonders für die Experimente mit den niedersten Tieren, wie Infusorien, Daphniden, Hydroiden sowie für die Arbeiten mit Bakterien und anderen pflanzlichen Mikroorganismen. Da alle diese Organismen sich ohne Befruchtung vermehren (beziehungsweise vermehren können), ist es leicht, durch Isolation einzelner Individuen „reine Linien“ zu begründen, wenn wir die Bedeutung der Bezeichnung „reine Linien“ auch auf die Nachkommen eines nur durch Teilung sich vermehrenden Individuums ausdehnen.

Mit dem Infusorium Paramaecium hat der amerikanische Forscher *H. S. Jennings* sehr umfassende und höchst interessante Züchtungsversuche ausgeführt. In Zusammenhang mit unserem augenblicklichen Thema ist als Hauptresultat der *Jennings*schen Arbeiten anzuführen, daß auch hier innerhalb der reinen Linien die durch viele Generationen fortgesetzte Selektion keine erbliche Wirkung hatte. Hätte man aber mit den ursprünglich gegebenen Beständen ohne vorausgehende Isolierung reiner Linien gearbeitet, dann wäre ganz deutlich eine „*Galton*sche Regression“ erhalten worden. Auch *Woltereck*s Versuche mit Daphnien, *E. Hanels* Versuche mit Hydroiden und z. B. *Wolffs* Versuche mit Bakterien bestätigen das völlig. Auch *Pearls* wichtige Arbeiten mit Eierproduktion der Hühner gehören hierher.

Fig. 56.

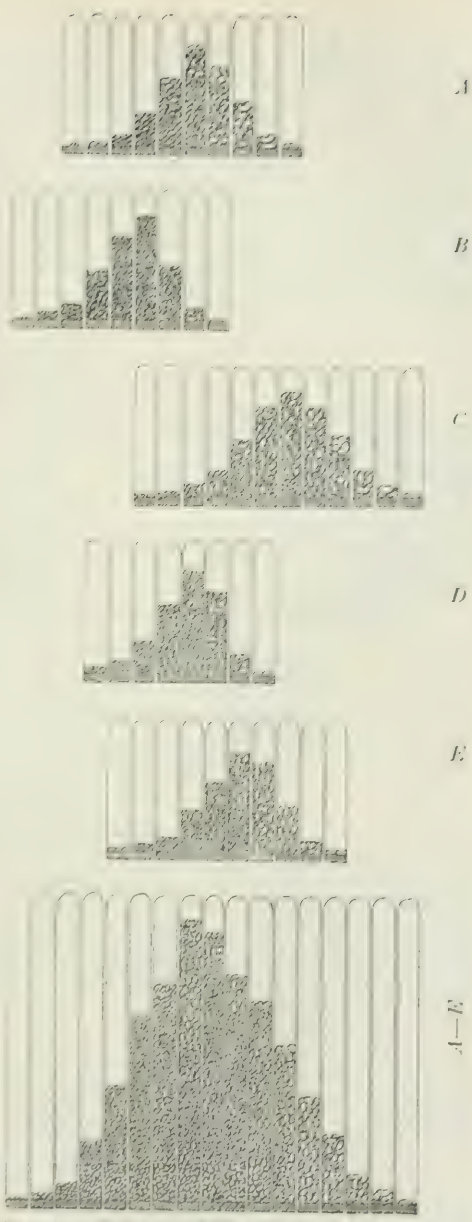
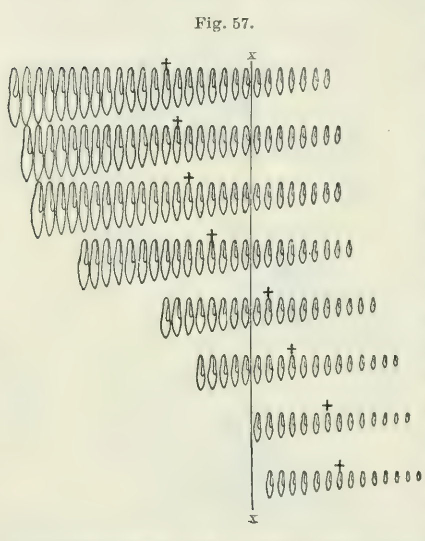


Diagramm fünf reiner Linien (*A*, *B*, *C*, *D* u. *E*) von Bohnen, nach Längenmaß in Klassen geordnet wie in Fig. 52 (S. 77). Die gleichwertigen Klassen der verschiedenen Linien sind senkrecht übereinander gestellt. Die verschiedenen Linien zeigen „transgressive“ Variabilität; es ist meistens unmöglich, bei Betrachtung einer individuellen Bohne zu unterscheiden, welcher Linie sie gehört. Die Population (*A*—*E*) ist aus der Summe der fünf reinen Linien gebildet. Die ganze Variationsweise in der Population und innerhalb der reinen Linien stimmt überein; es ist unmöglich, bei einfacher Inspektion ohne Züchtungsexperimente zu unterscheiden, welche von den sechs Serien eine gemengte Population ist und welche einheitliche Linien sind. Vgl. ferner den Text.

Somit haben wir gesehen, daß es mit dem *Galton*schen Gesetz sowie mit der früher landläufigen Auffassung der Selektionswirkung eigentlich recht schlecht steht. Das *Galton*sche Gesetz ist kein fundamentales biologisches Gesetz; es ist nur ein statistischer Ausdruck dafür, daß in den betreffenden Populationen verschiedene biologische Typen vorhanden sind. Die Selektion aus solchen Populationen wirkt einzig und allein durch Sortieren der Repräsentanten schon gegebener typischer Unterschiede; wo — wie in den gewöhnlichen reinen Linien — keine typischen Unterschiede vorhanden sind, wirkt die Selektion auch gar nicht. Schon daraus geht hervor, daß es nicht die persönliche Beschaffenheit ist, welche „vererbt“ wird, sondern daß sozusagen der „Typus“ der betreffenden reinen Linie das „erbliche“ ist.

Fig. 57.



Schematische Darstellung von acht reinen Linien einer Paramaecium-Population. Jede Horizontalreihe ist eine Mustersammlung von Individuen einer reinen Linie. Die mittlere Körperlänge jeder Linie ist mit + markiert; die mittlere Körperlänge der gesamten Population ist durch die Lage der Senkrechten x—x markiert. Die Infusorien etwa 40mal vergrößert. (Nach *Jennings*.)

Die vorstehende Fig. 56 kann als Illustration dafür dienen, wie eine Population, die anscheinend, rein statistisch oder deskriptiv betrachtet, den Eindruck von Einheitlichkeit macht, dennoch aus einem Gemenge „typisch“ mehr oder wenig verschieden beschaffener reiner Linien bestehen kann. Daß die fünf oberen Serien *(A, B, C, D* und *E)* der Fig. 56 Phänotypen darstellen, die wirklich einheitlich sind, während die durch Vereinigung der fünf Serien gebildete Population A—E heterogen ist, läßt sich gar nicht ohne weiteres erkennen. In den reinen Linien hat Selektion der Plus- oder Minusvarianten keine erbliche Wirkung, wie es näher erwähnt wurde. Anders aber in der Population: Hier sind wirkliche „Typen“-Unterschiede vorhanden. Ein Blick auf die Figur zeigt sofort, daß bei Selektion von Plusabweichern der Population die reine Linie *C* besonders stark repräsentiert werden wird; bei Selektion von Minusabweichern der Population wird hingegen die Linie *B* am stärksten repräsentiert werden.

So erklärt es sich sehr leicht, daß Selektion aus einer Population den Phänotypus derselben in der Selektionsrichtung verschieben kann. Da nun die natürlichen Populationen wohl meistens aus einer sehr großen Anzahl mehr oder weniger verschieden beschaffener „Typen“ bestehen, wird es klar, daß mittelst einer Selektion, welche durch Generationen fortgesetzt wird, der „Typus“ allmählich geändert werden muß.

Da das richtige Verständnis dieser Sache von fundamentaler Bedeutung ist, soll hier zur weiteren Illustration auch ein zoologisches Objekt benutzt werden, nämlich *Jennings* schon erwähnte Paramaeciumlinien (Fig. 57).

Es geht auch aus dieser Figur deutlich hervor, wie eine Selektion in nicht einheitlichen Populationen den „Typus“ in der Selektionsrichtung verschieben muß. Es wäre ein Leichtes, durch Selektion die mittlere Körperlänge der Population zu vergrößern oder zu verkleinern.

Aber dieses betrifft hier, wie bei den Bohnen und in allen anderen geprüften Fällen, nur den Phänotypus. Und man versteht wohl auch leicht, wie die von *Quetelet* herrührende statistische Auffassung, daß eine symmetrische „binomiale“ Verteilung der Varianten eines gegebenen Materials (wie z. B. die Population *A—E* der Fig. 56) als Zeichen einer Typeneinheitlichkeit der betreffenden Population zu betrachten sei, hier die biologische Auffassung irre führen konnte.

Es wird jetzt nötig, den Begriff „Typus“ genauer zu präzisieren. Die durch die eingipfelige, einigermaßen binominale Verteilung der Varianten sich zeigende Typeneinheitlichkeit betrifft eben den Phänotypus. Aber eine solche Einheitlichkeit kann, wie wir gesehen haben, eine sogar sehr große Heterogenität völlig maskieren. In der Population *A—E* (Fig. 56) deckt der Phänotypus die Unterschiede der 5 reinen Linien, von denen nur zwei (*A* und *D*) einander sehr ähnlich sind in bezug auf die hier in Frage kommende Eigenschaft. Die reinen Linien haben jede ihren eigenen „Typus“, von dem Phänotypus der Population mehr oder weniger abweichend.

Nun geht aus den Untersuchungen klar hervor, daß die Typen der reinen Linien wirklich einheitlich sind. Sie sind das Feste in den betreffenden Populationen: die mehr oder wenig zahlreiche Repräsentation der verschiedenen Linien bedingt den Phänotypus der Population. Wie sollen wir aber solche Linientypen bezeichnen?

Zunächst sind sie auch nur als Phänotypen zu bezeichnen: die Fig. 56 zeigt also 6 Phänotypen mit ihren Variationen, nämlich 5 den reinen Linien und einen der aus diesen Linien zusammengesetzten Population entsprechend. Der Unterschied zwischen den einheitlichen Phänotypen der reinen Linien einerseits und dem nicht einheitlichen Phänotypus der Population andrerseits liegt gar nicht in der Erscheinung selbst — kein Mathematiker kann mit auch nur einiger Sicherheit den 6 Phänotypen der Fig. 56 ansehen, ob sie einheitlich oder nicht einheitlich sind. Der wirkliche Unterschied besteht darin, daß die Individuen einer reinen Linie alle in bezug auf Erblichkeit gleichwertig sind, während die Individuen der Population sehr verschiedenwertig sind. Die Individuen einer reinen Linie sind alle aus Geschlechtszellen (Ei- und Samenzelle) hervorgegangen, welche in bezug auf die erblichen Eigenschaften ganz identisch „veranlagt“ sind. Sie gehören demselben „Anlagetypus“ an. Verschieden beschaffene reine Linien haben verschiedene Anlagetypen, die also in der betreffenden Population in mehr oder weniger zahlreicher Vertretung vorhanden sind.

Das Wort Anlagetypus ist schwerfällig und „Anlage“ ist in diesem Falle auch keine gute Bezeichnung. Besser ist es, als Gegenstück zum „Phäno-

typus" vom „Genotypus" zu sprechen. Dieses Wort ist aus dem griechischen Stamm „*gen*" gebildet, welchen wir aus den Wörtern Genesis, genetisch usw. kennen, die sich alle auf Entstehung, Entwicklung und Herkunft beziehen. Der „Genotypus" bedeutet also den Inbegriff aller in den beiden Geschlechtszellen bzw. deren Vereinigungsprodukt anwesenden „Anlagen" zu Eigenschaften, die sich als erblich zeigen. So können wir jedenfalls vorläufig den Genotypus definieren. Wir können ihn aber nicht direkt beobachten: die verschiedenen „Anlagen" (die wir eben als „Gene" bezeichnen), erkennen wir überhaupt nur aus den Eigenschaften der Organismen, die dem betreffenden Genotypus angehören.

Was wir aber konstatieren können, ist das Vorhandensein genotypischer Unterschiede bzw. Übereinstimmung; das Konstatieren und die nähere Untersuchung solcher Verhältnisse sind die wesentlichen Arbeiten der modernen Erblichkeitsforschung. Das Hauptwort „Genotypus" werden wir dementsprechend nur selten anwenden können, das Eigenschaftswort „genotypisch" aber um desto häufiger. Indem wir nochmals die Fig. 56 betrachten, können wir jetzt sagen, daß es den dort illustrierten Phänotypen nicht direkt angesehen werden kann, ob sie genotypisch einheitlich sind oder nicht. Wir wissen hier im voraus, daß die reinen Linien *A*—*E* jede für sich genotypisch einheitlich sind. Daß dagegen die Population *A*—*E* keine genotypische Einheit darstellt, obwohl die ganze Verteilungsart der Individuen um den Phänotypus gar nichts von einer Heterogenität der Population andeutet.

Man kann also einer Population, die sich phänotypisch als einheitliche präsentiert, direkt gar nicht ansehen, ob sie genotypisch einheitlich oder nicht einheitlich ist; nur die Prüfung der Erblichkeitsverhältnisse kann diese Frage beantworten. Die biologische Analyse eines Bestandes fordert eine Berücksichtigung des Erblichkeitsmomentes; die rein deskriptive Behandlung genügt durchaus nicht.

Wo man phänotypische Unterschiede beobachtet, hat man aber nicht ohneweiters das Recht, genotypische Unterschiede anzunehmen: Phänotypische Unterschiede wie z. B. zwischen den reinen Linien *A* und *B* oder *B* und *C* können durch recht verschiedene Ursachen bedingt sein. Für die durch Fig. 56 veranschaulichten Fälle wissen wir, daß genotypische Unterschiede die phänotypischen Unterschiede bedingen. Das Material wurde unter möglichst gleichen äußeren Verhältnissen angebaut. Da sich Generation nach Generation Unterschiede zeigten, ist es bewiesen, daß hier „tiefere" Unterschiede, eben „genotypische" Differenzen vorliegen.

Wenn Individuengruppen aus derselben reinen Linie, also mit derselben genotypischen Beschaffenheit, unter mehr oder weniger verschiedener Lebenslage sich entwickeln, so wird man meistens an den verschiedenen Standorten phänotypisch verschiedene Individuenserien erhalten. *A*, *B* und *C* der Fig. 56 könnten sehr wohl solche Serien einer und derselben reinen Linie sein, und die beobachteten phänotypischen Unter-

schiede wären in diesem Falle darauf zurückzuführen, daß die Lebenslage der *B*-Serie ungünstig für die Entwicklung einer großen Samenlänge waren, wo hingegen die Lebenslage der *C*-Serie in dieser Beziehung sehr günstig war usw. Der Einfluß solcher Lebenslageverschiedenheiten hat aber keine erbliche Wirkung.

Wir sehen also erstens, daß ein einziger Phänotypus die Anwesenheit recht bedeutender genotypischer Unterschiede völlig maskieren kann (bei genotypisch nicht einheitlichen Populationen), und zweitens, daß ein genotypisch einheitliches Material sehr verschiedene Phänotypen zeigen kann (bei verschiedener Lebenslage). Alles scheint demnach im Fluß zu sein; und man versteht leicht, daß die Meinung sich verbreiten konnte: es gebe überhaupt nicht feste Typen in der lebenden Natur; alles sei verschiebbar, und zwar mit ganz allmählichen Übergängen!

Das feste aber in dieser strömenden Welt ist die genotypische Grundlage. In den reinen Linien ist sie konstant — bis besondere Umstände, die wir später erwähnen, hier störend einwirken. Die Individuen einer gegebenen reinen Linie werden durch Vereinigung zweier Geschlechtszellen gebildet, die genotypisch gleich sind. Das Vereinigungsprodukt der bei einer Befruchtung beteiligten beiden Geschlechtszellen (die Gameten) wird jetzt allgemein als Zygote bezeichnet; dieses Wort fällt leichter als „das befruchtete Ei". Wo Gameten gleicher genotypischer Natur vereinigt werden, bildet sich eine Homozygote; wo hingegen die Gameten genotypisch nicht gleich sind (wie z. B. bei Kreuzung), bildet sich eine Heterozygote.

Die Forschung mit reinen Linien hat nun gezeigt, daß die genotypische Grundlage homozygotischer Organismen sehr „fester", d. h. konstanter Natur ist, indem die gewöhnlichen persönlichen Variationen keinen Einfluß auf die Nachkommenschaft haben: Die genotypische Grundlage, nicht aber die persönliche Beschaffenheit, bedingt die Erblichkeit. Somit ergibt sich als Resultat der Arbeit mit reinen Linien eine Definition von Erblichkeit, die völlig von der älteren abweicht: Erblichkeit ist die Anwesenheit gleicher genotypischer Grundlage in Eltern und Kindern, bzw. in Aszendenten und Deszendenten im allgemeinen. Von „Überführung" der Eigenschaften ist hier gar keine Rede. Eltern wie Kinder der gleichen reinen Linie sind mit allen ihren persönlichen Eigenschaften insofern völlig äquivalent, als sie alle zusammen Resultate der Reaktionen der gegebenen genotypischen Grundlage mit den Faktoren der Lebenslage sind.

Soweit die Arbeit mit reinen Linien, also mit homozygotischen Organismen gleicher genotypischer Grundlage. Diese Arbeit führt zur Analyse geeigneter Populationen, und für diese „Bestandesanalyse" ist das homozygotische Individuum (bzw. sein Genotypus) die letzte Einheit. Es versteht sich von selbst, daß ein weiteres Vordringen in der Erblichkeitsforschung notwendigerweise auf die Resultate solcher Bestandesanalysen fußen muß. Wir werden später ein Arbeitsfeld finden, bei dem dieses in sehr

traurigem Grade vernachlässigt ist — wo demgemäß auch die vermeintlichen Resultate meistens ganz wertlos sind: ich meine das Problem der Vererbung „erworbener“ Eigenschaften.

Ganz anders steht aber die Sache mit einer analytischen Richtung der Erblichkeitsforschung, die wir jetzt näher betrachten werden: die rationelle Arbeit mit heterozygotischen Organismen.

II.

Die ältere Forschung über Bastarde — mit welchem Wort man bekanntlich in populärer Weise Individuen bezeichnet, die durch Kreuzung verschiedener Spezies (bzw. Varietät oder Rasse) hervorgegangen sind — hatte gelehrt, daß solche Wesen, namentlich aber deren Nachkommen, höchst bunte Variationsverhältnisse zeigen können. Ja ein französischer Botaniker der siebziger Jahre hatte sogar eine Abhandlung mit dem recht hoffnungslosen Titel: „Über die regellose Variation der Bastarde“ publiziert.

Damals war aber schon die Arbeit des jetzt so berühmten Brünner Abtes *Gregor Mendel* ausgeführt, eine Arbeit, die als Grundlage der exakten Forschung auf diesem Gebiete zu bezeichnen ist.

Mendel hat das große Verdienst, hier zahlenmäßige Rechenschaft der Variationsverhältnisse, strenges Auseinanderhalten der verschiedenen Generationen der Bastardnachkommen und gesonderte Berücksichtigung der einzelnen Charaktere („Merkmale“) der Organismen eingeführt zu haben. Diese drei Momente bilden die Grundprinzipien des in dem letzten Dezennium äußerst wirksamen „Mendelismus“ (exakten Bastardforschung), dessen Hauptresultate im folgenden betrachtet werden sollen.

Jeder Organismus, welcher durch Befruchtung entstanden ist, hat Doppelnatur, indem er durch Vereinigung zweier Gameten gegründet ist. Der Unterschied zwischen Eizelle und Samenzelle ist, in bezug auf Erblichkeit, wohl immer ganz unwesentlich, insofern die Zellen nicht genotypisch verschieden sind. Man könnte ebensogut sagen, daß das Ei die Samenzelle befruchtet, als umgekehrt; für uns ist die Hauptsache, daß die durch Vereinigung der beiden Gameten gebildete Zygote die genotypische Grundlage des durch die betreffende „Befruchtung“ gebildeten Organismus besitzt.

Die Gameten haben nun — relativ gesehen — Einfachnatur, während die Zygote Doppelnatur hat. Dieses letztere gilt fortan für alle Zellen, welche durch die Teilung und weitere Entwicklung der Zygote zu Tier oder Pflanze gebildet werden. Es zeigt sich auch ganz deutlich bei mikroskopischer Untersuchung, daß die Zellkerne im Tier- oder Pflanzenkörper zweimal so viele charakteristische Strukturelemente (sogenannte Chromosomen) haben, als die Gameten jede für sich. Bei jeder Zellteilung erhält jede neue Zelle des in Entwicklung sich befindenden Tier- oder Pflanzenkörpers gleich viel von den Strukturelementen, die von je einer der Gameten her-

rühren. Wenn das Tier oder die Pflanze Geschlechtsreife erreicht hat, wenn also in dem Organismus Gametenbildung einsetzen soll, erfolgen in den betreffenden Organen eigentümliche Reduktionsvorgänge, deren Resultat die Bildung von Zellen mit zur Hälfte reduzierter Anzahl Strukturelemente ist. Diese „reduzierten" Zellen selbst, oder aber Zellen, die nach weiteren Teilungen aus ihnen gebildet werden, sind die Gameten. Für diese ist es also charakteristisch, daß sie gerade die Hälfte derjenigen Anzahl Kernstrukturelemente enthalten, welche für die eigentlichen Körperzellen der betreffenden Tier- oder Pflanzenspezies eigentümlich sind. Und jetzt können die Gameten, seien sie nun Ei- oder Samenzellen, bei neuen Befruchtungen sich beteiligen — und so geht das Spiel weiter, Generation nach Generation.

Von diesen Sachen kannte man zu *Mendels* Zeiten nichts; und die Finessen bei den Kernteilungsvorgängen können auch jetzt noch bei der eigentlichen Erblichkeitsforschung nur wenig ausgenutzt werden; aber das Angeführte bestätigt in hohem Grade die von *Mendel* so scharf betonte Auffassung der „Doppelnatur" des Tier- und Pflanzenkörpers gegenüber der relativen „Einfachnatur" der Gameten.

In reinen Linien (falls nicht Störungen eintreten, die wir später berücksichtigen werden) müssen die Gameten genotypisch gleich sein; die Individuen sind völlig homozygotisch (gleichartig-doppelt), und bei jeder Gametenbildung werden nur genotypisch gleiche Gameten entstehen können. Kein Wunder, daß bei reinen Linien der „Typus" fest ist: die genotypische Grundlage der Gameten bleibt ja dieselbe im Laufe der Generationen.

Ganz anders aber, wenn Kreuzung, Vereinigung zweier Gameten ungleicher genotypischer Beschaffenheit, vor sich geht. Falls die Befruchtung überhaupt zur Bildung eines lebensfähigen Organismus führt, wird dieser ungleichartig-doppelt, heterozygotisch sein. Der allereinfachste Fall ist der, daß die beiden beteiligten Gameten von miteinander so weit übereinstimmenden Organismen herrühren, daß die Gameten nur in bezug auf eine einzige „Eigenschaft" genotypisch verschieden sind. Nur in bezug auf diese Eigenschaft ist der gebildete Organismus heterozygotisch, nur in dieser einzigen Hinsicht hat er also Bastardnatur.

Mendel fing seine Betrachtungen mit solchen Fällen an. Wir folgen ihm; nur wählen wir bequemere und lehrreichere Beispiele, von der Forschung des letzten Dezenniums stammend. Werden zwei reine Linien von Bohnen gekreuzt, die eine durch violette Blüten, die andere durch weiße Blüten charakterisiert, sonst aber völlig übereinstimmend, dann findet man, daß der Bastard hellviolette Blüten bekommt — eine Farbe, die zwischen den Farben der elterlichen Blüten liegt. Sehr einfach und im voraus recht einleuchtend. Die Vorstellung, daß der Bastard eine Zwischenform, ein Mittelding der Eltern sei, ist bekanntlich recht verbreitet und paßt ja auch hier. Was nun aber die Nachkommen des Bastards betrifft, so hat man sehr lange gewußt, daß sie „Rückschläge" auf den Typus der Gameten (der reinen Rassen) zeigen können, und für diese Erscheinung hat

man das Wort „Atavismus“ gebraucht, ein Wort, das vielfache Verwendung in der älteren Erblichkeitslehre fand.

Es steht vollständig mit den älteren Erfahrungen in Einklang, wenn wir in unserem Beispiel sowohl violett und rein weiß als auch hellviolett blühende Nachkommen des Bastards finden. Hier griff nun *Mendel* ein. Er erfaßte das Wesen der ganzen Erscheinung und betrachtete die Zahlenverhältnisse solcher verschiedenen Nachkommen der Bastarde. In unserem Beispiel wird man 50% hellviolett, 25% violett und 25% rein weiß blühender Pflanzen finden — natürlicherweise mit dem Spielraum für Nichtübereinstimmung, welcher aus der absoluten Anzahl und dem theoretischen Mittelfehler des betreffenden Verhältnisses 2 : 1 : 1 berechnet werden kann.

Mendel wurde darüber klar, daß ein solches Zahlenverhältnis leicht verständlich ist, wenn wir annehmen, daß die einseitig der Zygote zugeführte Eigenschaft (bzw. deren genotypische Grundlage) nur in der Hälfte der im Bastard sich bildenden Gameten vertreten ist, in der anderen Hälfte aber nicht. Bezeichnen wir in unserem Beispiel mit *V* dasjenige im Genotypus der Gameten, welches das Auftreten von „Violett“ bedingt, während wir mit dem kleinen Buchstaben *v* das Fehlen von *V* markieren, so sind die beiden reinen Rassen in bezug auf die hier allein zu betrachtende Eigenschaft mit *VV* bzw. *vv* zu bezeichnen. Die zwei gleichen Buchstaben betonen die homozygotische Natur der reinen Rassen. Die Gameten haben demnach die Formel *V* bzw. *v*. Und für den durch Kreuzung gebildeten Bastard wird die Formel *Vv* die heterozygotische Natur in bezug auf die hier interessirende Eigenschaft klar ausdrücken: von dem einen Elter kam *V*, von dem anderen aber kein *V*, also *v*.

Man bezeichnet jetzt gewöhnlich die bei der Kreuzung beteiligten beiden Individuen als die parentale Generation *(P)*; die durch die Kreuzbefruchtung gebildeten heterozygotischen Organismen, die „primären Bastarde“, werden als „Erste Filialgeneration“ (F_1) bezeichnet. Wir haben somit die folgende schematische Übersicht:

Die beiden *P*-Formen	*VV* und *vv*
Die Gameten der *P*-Formen	*V* und *v*
Der Bastard F_1	*Vv*
Die Gameten des Bastards	*V* und *v*

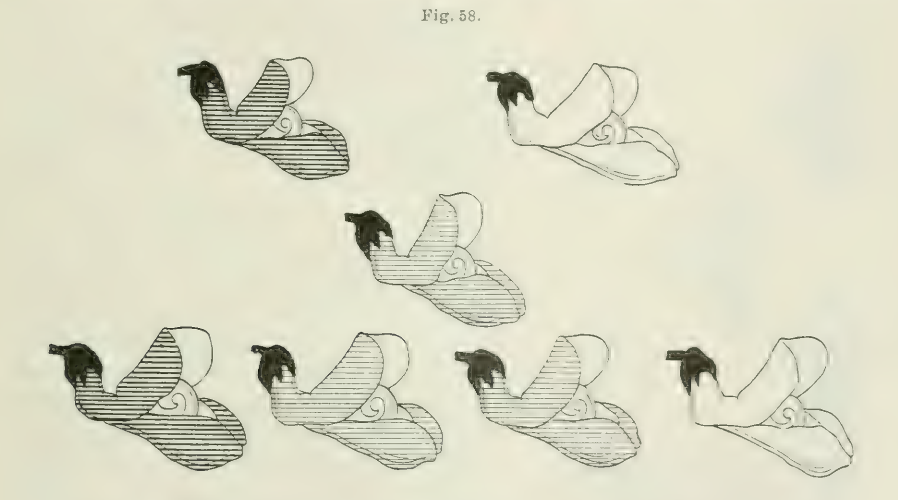
Dieses Schema drückt sozusagen *Mendels* Voraussetzung in der einfachsten Weise aus. Wo der Bastard sich selbst befruchten kann, wie bei sehr zahlreichen selbstbestäubenden Pflanzen, oder wo nur Geschwister der F_1-Generation sich befruchten, wie es bei Tierexperimenten geschieht, finden sich nach obigem Schema 4 verschiedene Möglichkeiten der Vereinigung der Gameten:

Ei	*V*	mit Samen	*V*	gibt	die	Zygote	*VV*
„	*V*	„ „	*v*	„	„	„	*Vv*
„	*v*	„ „	*V*	„	„	„	*vV*
„	*v*	„ „	*v*	„	„	„	*vv*

Da nun diese Möglichkeiten alle gleich wahrscheinlich sein müssen, erhält man das vorhin erwähnte Verhältnis 1 *VV* : 2 *Vv* : 1 *vv* in der **zweiten Filialgeneration** (F_2), d. h. unter den Nachkommen des Bastardes F_1.

Ist die *Mendel*sche Voraussetzung richtig, so ist zu erwarten, daß die violetten Individuen der F_2-Generation und ebenfalls die rein weißblühenden homozygotisch sind, und also ihrerseits rein violett bzw. rein weißblühende Nachkommen erhalten — im Falle, daß nur Selbstbefruchtung oder gegenseitige Befruchtung gleicher Individuen erfolgt. Die violetten sowie die weißen Individuen der F_2-Generation haben also hier dieselbe genotypische Beschaffenheit wie die Individuen der violetten

Fig. 58.



Kreuzung einer violettblühenden Bohnenrasse mit einer weißblühenden. Oben die beiden Eltern (die Parentalgeneration), in der zweiten Linie der Bastard selbst (die erste Filialgeneration). In der dritten Linie die Bastardnachkommen (zweite Filialgeneration), welche „gespaltet" erscheint im Verhältnis *1 VV, 1 Vv, 1 vV* u. *1 vv*. Stark schraffiert bedeutet violett, schwach schraffiert hellviolett und nicht schraffiert weiß. (Schematisch.)

bzw. der weißblühenden Parentalgeneration; in beiden Fällen sind die betreffenden Formeln ja auch *VV* bzw. *vv*.

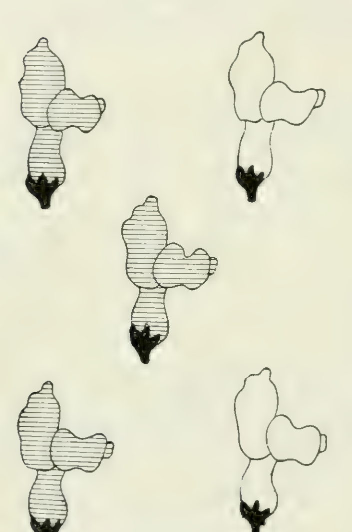
Die F_2-Generation zeigt sich also „gespalten": sie besteht aus dreierlei Individuen, nämlich zur Hälfte aus Individuen mit Bastardnatur — die Heterozygoten *Vv* — während je ein Viertel der Individuen „rein" weiß, *vv*, und „rein" violettblühend, *VV*, ist. Die Fig. 58 gibt eine schematische Darstellung dieser denkbar allereinfachsten „Bastardspaltung".

Hier kann man der F_1-Generation gleich ansehen, daß sie heterozygotisch ist. Ein solches Verhältnis liegt aber meistens nicht vor, ja selbst bei dem erwähnten Bohnenversuch ist es nicht immer leicht, die Heterozygoten der F_2-Generation von den violettblühenden ohne Nachkommenprüfung zu trennen. Das weißblühende Viertel ist aber nicht mit den heller oder dunkler violettblühenden Individuen zu verwechseln und so tritt das

Zahlenverhältnis 3 (heller oder dunkler) violett : 1 weiß als das augenfälligste der F_2-Generation hervor. Diese Proportion 3 : 1 ist überhaupt die mathematische Grundlage der Zahlenverhältnisse der Bastard„spaltung“.

Sehr häufig sieht die F_1-Generation ganz wie die eine P-Form aus. Bei einer Kreuzung von rotblühendem und weißblühendem Löwenmaul (Antirrhinum) fand *Baur*, daß der Bastard ebenso rot ausfiel wie die rotblühende Rasse (Fig. 59). Bezeichnen wir hier die genotypische Grundlage für Rot mit R, das Fehlen derselben mit r, so hat die Heterozygote Rr ganz dasselbe Aussehen wie RR. Und die F_2-Generation, aus $1\,RR + 2\,Rr + 1\,rr$ pro 4 Individuen bestehend, präsentiert sich als 3 rot : 1 weiß.

Fig. 59.



Kreuzung von rot- und weißblühendem Löwenmaul. Schraffierung bedeutet rot. F_1 gleicht völlig dem roten P. Die F_2-Generation in *3* rot: *1* weiß gespalten. (Nach *Baur*.)

Eine Eigenschaft, die sich bei homozygotischer (hier RR) oder heterozygotischer (Rr) Anwesenheit des betreffenden genotypischen Faktors gleich stark bzw. anscheinend oder annähernd gleich stark geltend macht, wird als dominierend bezeichnet.

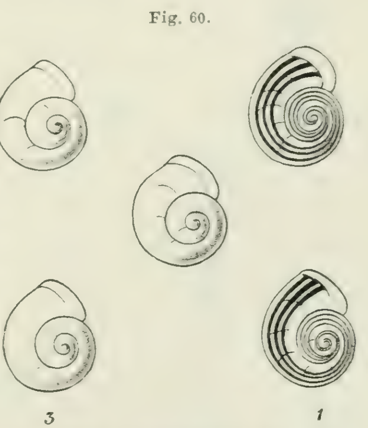
Ob die Dominanz vollkommen ist (hier also ob Rr persönlich ganz wie RR erscheint), hat meistens kein weiteres Interesse, die Relation 3 : 1 in der F_2-Generation ist hier die Hauptsache. Das in Fig. 58 illustrierte Beispiel kann deshalb auch dem Schema der Fig. 59 zugeordnet werden, mit Violett, V, als dominierend.

Eine Eigenschaft, die sich nur manifestiert, wenn sie homozygotisch bedingt ist, wird dagegen als recessiv bezeichnet. In den beiden erwähnten Beispielen war weiße Blütenfarbe recessiv im Vergleich mit Rot. Es ist durchaus nicht gegeben, daß eine dominierende Eigenschaft, wie Rot hier, immer einem positiven Faktor in der genotypischen Grundlage entspricht. Es läßt sich z. B. nicht ohne weiteres entscheiden, ob die Differenz zwischen der roten und weißen P-Form der Fig. 59 durch ein Mehr bei der roten oder bei der weißen Form bedingt ist. Es könnte ja bei der weißen Form ein Faktor zugegen sein, welcher die Entfaltung der Eigenschaft „Rot“ unmöglich machte; d. h. die Reaktion „Farbstoffbildung“ kann a priori ebensogut dadurch bedingt sein, daß der weißen P-Form etwas genommen wird als durch ein Hinzufügen eines speziellen Faktors. Kurz gesagt, der Unterschied zwischen Rot und Weiß könnte ebensowohl durch $+$ als durch $\div$ auszudrücken sein.

Ein schönes Beispiel aus den Forschungen *A. Langs* sei hier gleich vorgeführt. Die gewöhnliche Gartenschnecke Tachea hortensis kommt

in verschiedenen Rassen vor, z. B. mit und ohne gebänderten Schalen. Die Schnecken sind hermaphrodit; bei jeder Befruchtung treten also die beiden beteiligten Individuen zugleich als Vater und Mutter auf. Bei Kreuzung einer (im voraus als homozygotisch erkannten) bänderlosen Schnecke mit einer gebänderten dominiert „bänderlos" (Fig. 60); aus den Eiern beider beteiligter Tiere entwickeln sich nur bänderlos bleibende Jungen. Will man, den früheren Beispielen entsprechend, eine Formel anwenden, könnte man etwa B und b hier als Zeichen benutzen. Indem man nun am besten stets mit großen Buchstaben Dominanz bezeichnet, würde B bänderlos bedeuten und b gebändert. Demnach die P-Generation: BB und bb; die F_1-Generation Bb (bänderlos dominiert) und die F_2-Generation $BB + 2Bb + bb$, also 3 von B geprägt (bänderlos) und 1 recessiv, bb (gebändert; vgl. Fig. 60).

Fig. 60.



Kreuzung von Schnecken mit und ohne geänderte Schale. Bänderlos dominiert. (Nach *Langs* Angaben.)

Das Dominieren eines wirklich oder anscheinend negativen Charakters ist gar nicht selten. Auf diese Frage gehen wir später ein; zunächst müssen weitere Erfahrungen erwähnt werden.

Wenn Dominanz vorhanden ist, kann man den Individuen mit dominierender Eigenschaft nicht ansehen, ob sie homo- oder heterozygotisch sind. Eine Nachkommenbeurteilung ist immer nötig, um die genotypische Natur zu erkennen. War ein Individuum homozygotisch, so werden (bei Selbstbefruchtung oder bei Befruchtung mit genotypisch gleichen Individuen) die Nachkommen gleichartig — wieder homozygotisch; war das Individuum aber heterozygotisch, so erhält es (bei Selbstbefruchtung usw.) Nachkommen, die im Verhältnis 3 : 1 „gespalten" erscheinen. Da nun die rein „abgespalteten" homozygotischen Formen jede für sich „reine", d. h. genotypisch gleichartige Nachkommen erhalten, während die Heterozygoten stets „gespaltene" Nachkommenserien haben, so versteht man leicht, daß die Deszendenten eines selbstbefruchtenden heterozygotischen Individuums, wie z. B. der hellvioletten Bohne in Fig. 58, mit jeder Generation reicher an „reinen" Individuen (hier VV und vv) werden muß. Die F_1-Generation bestand ja aus 100% Vv; die F_2-Generation aus 50% Vv. Die F_3-Generation wird — gleiche Fruchtbarkeit aller Individuen stets vorausgesetzt — aus nur 25% Vv bestehen, die F_4-Generation enthält nur 12·5% usw. Schon F_{11} wird kaum 1‰ Vv enthalten und bald erscheint also die ganze Nachkommenschaft in die reinen P-Formen „gespalten". Der „Rückschlag" zu den reinen Elterntypen ist vollbracht.

Ganz anders aber, wo nicht Selbstbefruchtung, sondern, wie bei den Tieren und vielen Pflanzen, Fremdbefruchtung erfolgt. Falls diese Be-

fruchtung ganz frei erfolgt, ist es leicht einzusehen, daß das Verhältnis 1 : 2 : 1 oder also bei Dominanz 3 : 1 sich unverändert halten wird. Denn die Gameten der F_2-Generation sind ja zur Hälfte mit dem dominierenden Faktor versehen, ganz wie die Gameten der F_1-Generation; folglich bilden sich bei freier Paarung die drei möglichen Kombinationen (z. B. *VV*; *Vv* und *vv*) in ganz derselben Häufigkeit in jeder Generation. Die Erscheinung der Dominanz hat — wohl unter dem Einfluß des Wortes „Dominieren" — mitunter zu der irrigen Auffassung geführt, daß die relative Anzahl der betreffenden Individuen für jede Generation sich vergrößern werde. Davon ist aber, wie wir aus dem Angeführten sehen können, gar keine Rede.

Fig. 61.

9 3 3 1

RL *Rl* *rL* *rl*

Kreuzung zweier Löwenmaulrassen mit zwei Differenzpunkten. (Schraffierung bedeutet rot.) Hier zeigen sich deutlich die Kombinationen der betreffenden Einzeleigenschaften: Rot oder Weiß, Lippe oder Pelorie. (Nach *Baur*.)

Die angeführten Beispiele betrafen möglichst einfache Fälle: die Existenz nur einer einzigen genotypischen Differenz zwischen den sich kreuzenden reinen *P*-Formen. Meistens finden sich mehrere, ja soger sehr viele solche Differenzpunkte. Es hat sich aber schon bei *Mendels* eigenen Untersuchungen gezeigt — und es wurde auch gleich bei der verdienstvollen Wiederentdeckung der ganz unberücksichtigt gebliebenen *Mendel*schen Erfahrungen durch *Correns, v. Tschermak* und *de Vries* klar erkannt — daß die verschiedenen bei den Kreuzungen in Frage kommenden Eigenschaftselemente sich gewöhnlich ganz unabhängig von einander auf die Gameten verteilen. Finden sich zwei genotypische Differenzpunkte zwischen den beiden *P*-Formen, wird F_1 zweifach heterozygotisch und die F_2-Generation erscheint alsdann, falls für beide Differenzpunkte Dominanz im Spiele ist, nach der Kombinationsformel $(3:1)\,(3:1) = 9:3:3:1$ gespalten.

Als Beispiel zur Illustration kann wiederum eine von *Baurs* Kreuzungen mit Löwenmaul dienen (Fig. 61). Ein rotblühendes Löwenmaul, pelorisch (d. h. nicht lippenförmig in der Krone), wurde mit einer weißblühenden Form, welche Lippenkrone hatte, gekreuzt. F_1 hatte rote Lippenkrone; F_2 aber bestand aus den hier möglichen Kombinationen von Kronenform mit Farbe, nämlich: Lippe mit Rot, Pelorie („nicht Lippe") mit Rot, Lippe mit Weiß („nicht Rot") und Pelorie („nicht Lippe") mit Weiß („nicht Rot"). Die Proportionen waren, auf 16 Individuen berechnet, 9 : 3 : 3 : 1. Ein solches Zahlenverhältnis in der F_2-Generation entspricht immer einer

zweifach-heterozygotischen Beschaffenheit in F_1. Und die spezielle Verteilungsweise zeigt ferner, daß „Lippe" über „Pelorie" dominiert hat, wie „Rot" über „Weiß".

Um Rechenschaft über die Sache zu führen, sei wiederum Rot mit *R* und Weiß mit *r* bezeichnet, ferner „Lippe" mit *L* und Pelorie mit *l* (als „Nicht-Lippe"). Für F_1 erhalten wir dann die Formel *Rr, Ll*. Die möglichen Gametenbeschaffenheiten — wenn wir ganz freie Verteilung der genotypischen Faktoren auf die Gameten voraussetzen — sind dabei vier, nämlich *R,L*; *R,l*; *r,L* und *r,l*. Für vier Gameten sind die Kombinationsmöglichkeiten aber $4^2 = 16$, und wir werden somit folgende Möglichkeiten für die genotypische Beschaffenheit der F_2-Individuen haben.

1. RR, LL,	*2. RR, Ll,*	*3. Rr, LL,*	*4. Rr, Ll,*
5. RR, Ll,	*6. RR, ll,*	*7. Rr, Ll,*	*8. Rr, ll,*
9. Rr, LL,	*10. Rr, Ll,*	*11. rr, LL,*	*12. rr, Ll,*
13. Rr, Ll,	*14. Rr, ll,*	*15. rr, Ll,*	*16. rr, ll.*

Diese Möglichkeiten sind gleich wahrscheinlich und werden also im großen und ganzen gleich häufig realisiert sein mit den Schwankungen, die nach den Wahrscheinlichkeitsgesetzen vorauszusehen sind. Dominieren *R* und *L*, dann werden also die Individuen, die auch nur heterozygotisch *R* oder *L* haben, von den betreffenden Eigenschaften geprägt. Sowohl von *R* und *L* geprägt (Rot, Lippe) werden demnach 9 aus den 16 Individuen sein (nämlich Nr. *1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10* und *13*); 3 werden nur von *R* geprägt (Rot, nicht Lippe; nämlich Nr. *6, 8, 14*); 3 nur von *L* (nicht rot, Lippe; nämlich Nr. *11, 12, 15*) und 1 Individuum aus je 16 wird weder von *R* noch *L* geprägt werden (Nr. 16, nicht rot, nicht Lippe).

Eine solche Erklärung der beobachteten Zahlenverhältnisse der „Spaltung" in der F_2-Generation sowie der Erscheinung, daß in F_2 zwei „neue" Formen auftreten, nämlich hier Rot, Lippe und Weiß, Pelorie, in welchen die Eigenschaften der *P*-Formen in neuer Weise kombiniert auftreten, hat schon *Mendel* gegeben. Und als Beispiel der wirklichen Übereinstimmung der Beobachtungen mit den geforderten Zahlenverhältnissen kann *Mendels* Kreuzung zweier Erbsenrassen, die eine mit glatten und gelben Kotyledonen, die andere mit runzlichen und grünen Kotyledonen, hier angeführt werden. F_1 war glatt und gelb; diese Eigenschaften zeigen sich also als dominierend. Die F_2-Generation bestand aus 556 Samen; von diesen waren:

Glatt und gelb	315 (9·06 pro 16)
Glatt und grün	108 (3·11 pro 16)
Runzelig und gelb	101 (2·91 pro 16)
Runzelig und grün	32 (0·92 pro 16)

Die Abweichungen von 9 : 3 : 3 : 1 fallen völlig innerhalb der theoretischen Fehlergrenzen.

In solchen Fällen zweifacher Heterozygotität, wie die Fig. 61 illustriert, treten in der F_2-Generation 4 verschiedene Phänotypen auf: und zwar mit der relativen Repräsentation von 9 : 3 : 3 : 1 Individuen pro 16. Das eine Individuum (Nr. 16 der obenstehenden Übersicht), welches nichts von

einer dominierenden Eigenschaft zeigt, mithin rein „recessiv“ geprägt ist, hat, wie es in der Natur der Sache liegen muß, homozygotische Beschaffenheit. In den drei anderen Gruppen gibt es ebenfalls je ein homozygotisches Individuum. Die Übersicht weist nämlich auf, daß Nr. 1, 6, 11 — sowie die Nummer 16 — homozygotisch sind. Alle anderen Individuen sind heterozygotisch, und zwar sind Nr. 4, 7, 10 und 13 zweifach-heterozygotisch, ganz wie F_1 selbst. Nr. 3, 8, 9, 14 sind einfach-heterozygotisch in bezug auf die eine dominierende Eigenschaft (hier *R*) und Nr. 2, 5, 12, 15 sind es in bezug auf die andere dominierende Eigenschaft (hier *L*).

Abgesehen von den Individuen mit rein recessiven Eigenschaften, kann man den F_2-Individuen gar nicht ansehen, ob sie homo- oder heterozygotisch sind. Nur eine Nachkommenbeurteilung kann die genotypische Beschaffenheit näher beleuchten. Die Nachkommen von Nr. 1 (Selbstbefruchtung hier stets als Kontrollmittel vorausgesetzt) werden alle den Typus „Rot, Lippe“ haben; Nr. 2 wird als Nachkommen „Rot, Lippe“ und „Rot, Pelorie“ im Verhältnis 3 : 1 erhalten usw. Die Nummern 4, 7, 10 und 13, persönlich ganz wie Nr. 1 und 2 aussehend, werden aber — als die zweifachen Heterozygoten, die sie sind, — in ihren Nachkommen die ganze „Spaltung“ nach 9 : 3 : 3 : 1 zeigen.

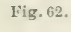
Die gleichen Phänotypen zeigen sich hier also mit recht verschiedener genotypischer Grundlage, und es ist aus dem Angeführten schon klar geworden, daß nur diese Grundlage die Erscheinungen der Erblichkeit bedingt. Die Erfahrungen aus der Forschung mit reinen Linien fließen somit ganz mit dem „Mendelismus“ zusammen. Und dieses wird sich immer wieder bestätigen.

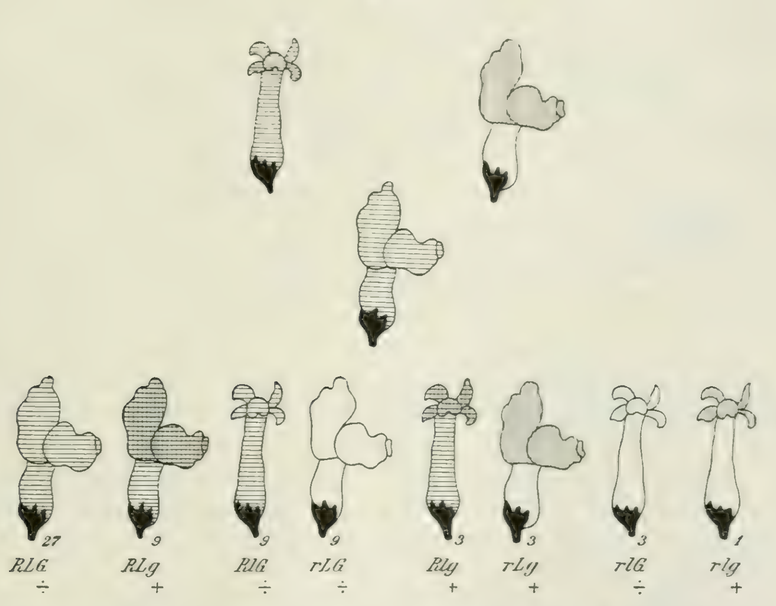
Wir müssen aber jetzt an mehr komplizierte Erscheinungen gehen. Fig. 62 gibt eine von *Baurs* Kreuzungen mit dreifacher Heterozygotität. Den beiden *P*-Formen könnte man wohl — nach den durch die Fig. 59 und 61 gemachten Erfahrungen — ansehen, daß 3 Differenzpunkte hier zugegen sind, nämlich Rot — nicht Rot; Lippe — nicht Lippe und Gelb (in der Lippe) — nicht Gelb. Ohne solche vorausgehende Spezialerfahrung ist der unmittelbare Vergleich der *P*-Formen selbst in einem so relativ durchsichtigen Fall, wie dieser, nicht sicher. Hier wird F_1 Rot, mit Lippenkrone. Von Gelb wird aber gar nichts bemerkt. Überhaupt sieht F_1 hier genau so aus wie in den beiden durch die Fig. 59 und 61 illustrierten Kreuzungen. Erst die Beschaffenheit der F_2-Generation entschleiert die genotypische Natur der Heterozygote. Da, wie Fig. 62 illustriert, das Verhältnis 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1 sich bei der „Spaltung“ zeigt, ist bewiesen, daß dreifache Heterozygotität in F_1 vorhanden war.

Wie für einfache Heterozygotität die Zahlen $3 + 1$ die relative Häufigkeit der verschiedenen möglichen Phänotypen in F_2 präzisiert und $(3 + 1)(3 + 1) = 9 + 3 + 3 + 1$ die Verteilungsart bei zweifacher Heterozygotität ausdrückt, so haben wir hier („Dominanz“ in jedem Dif-

ferenzpunkt vorausgesetzt) die Formel $(3 + 1)\,(3 + 1)\,(3 + 1) = (3 + 1)^3 =$ $= 27 + 9 + 9 + 9 + 3 + 3 + 3 + 1$ als Ausdruck der Verteilung der möglichen Phänotypen pro 64 Exemplare.

Wir können wohl jetzt — im Anschluß an die für zweifache Heterozygotität durchgeführte Diskussion — ohne weiteres betonen, daß die 27 Individuen pro 64 von allen d r e i dominierenden Charakteren geprägt sein werden; die drei Gruppen à 9 werden von je z w e i dieser Charaktere und die drei Gruppen à 3 von je e i n e m dominierenden Charakter geprägt, während ein einziges Individuum von keinem dominierenden Charakter geprägt ist. Dieses Individuum ist also rein „recessiv" charakterisiert.


Fig. 62.



Kreuzung zweier Löwenmaulrassen; drei Differenzpunkte vorhanden. (Nach *Baur*.) Horizontale Schraffierung bedeutet Rot, senkrechte Schraffierung Gelb. Übrigens Rot mit *R*, nicht Rot mit *r*, Lippe mit *L*, nicht Lippe mit *l* bezeichnet. Ferner: Nichtgelb (als über Gelb dominierend) mit *G* und Gelb (als rezessiv) mit *g* bezeichnet. Die Buchstaben unter den Spezialfiguren der F_2-Generation geben ihre phänotypischen Charaktere an. Hier ist *g* mit + und *G* mit ÷ bezeichnet, um die „positive" Reaktion von *g* gegenüber *G* zu pointieren. Das rein rezessiv geprägte Individuum *rlg* hat selbstverständlich die entsprechende homozygotische Beschaffenheit *rr, ll, gg*. Von den 27 durch *RLG* charakterisierten Individuen hat nur ein einziges die homozygotische Beschaffenheit *RR, LL, GG*; die 26 anderen sind heterozygotisch, 8 sogar dreifach heterozygotisch wie F_1 selbst und nicht weniger als 18 enthalten *g* heterozygotisch. Überhaupt ist innerhalb jeder der in der F_2-Generation auftretenden acht Phänotypengruppen nur je ein Individuum (pro 64 im ganzen) homozygotisch. Die übrigen 56 pro 64 Individuen sind dreifach, zweifach oder einfach heterozygotisch.

Aus der Fig. 62 ersieht man nun bald, daß (wie in dem in Fig. 61 illustrierten Fall) Rot, *R*, über Weiß, *r*, und Lippe, *L*, über Pelorie, *l*, dominiert. Ferner aber zeigt es sich hier, daß Weiß als n i c h t G e l b über

Gelb dominiert. Schon in F_1 ist Gelb nicht zu spüren (es könnte von Rot „verdeckt“ sein, aber die als Braunrot sich manifestierende Kombination von Rot und Gelb in F_2 beweist, daß dieses nicht der Fall ist!); und die Zahlenverhältnisse in F_2 bezüglich Gelb sind ganz überzeugend: Gelb ist hier recessiv.

Wir sehen dieses bei dem im Verhältnis 1:64 auftretenden „rein recessiven“ gelben Individuum einerseits und andrerseits bei den 27 Individuen mit lauter dominierendem Charakter: hier fehlt ja Gelb! Gelb, obwohl eine sich ganz „positiv“ äußernde Eigenschaft, ist hier also nur realisabel, wenn homozygotisch repräsentiert. Der Fall entspricht völlig dem Befund bei Schnecken in Fig. 60.

Es kann nicht stark genug hervorgehoben werden, daß aus der Dominanz absolut nichts in bezug auf die positive oder negative Natur des betreffenden Charakters geschlossen werden kann. „Dominanz“ besagt nichts als Eintreten der Reaktion selbst bei heterozygotischem Bedingtsein, während Recessivität bedeutet: Reaktion nur bei homozygotischem Bedingtsein.

Für das Rechnungswesen, besonders für das Aufstellen von Kombinationsschemen, ist es praktisch, Dominanz stets mit großen Buchstaben auszudrücken.

In dem hier vorliegenden Fall muß man sich also stets daran erinnern, daß *g* „Gelb“ und *G* „nicht Gelb“ bedeutet. Durch besondere Zeichen, etwa $g+$ bzw. $G\div$, könnte man dieses vielleicht näher präzisieren, wie es in der Fig. 62 geschehen ist.

Übrigens ist die Zeichensprache der sich entwickelnden Erblichkeitsforschung eine Sache, über die man sich bald einigen muß. Sehr viele sprachliche und andere Schwierigkeiten stehen aber einstweilen solchen Vereinbarungen im Wege.

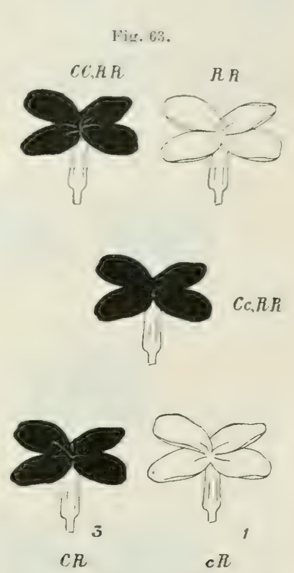
Bei *Mendel* und im Anfange des neuen Jahrhunderts war die Auffassung herrschend, daß stets zwei „Eigenschaften“ sozusagen antagonistisch auftreten, ein Paar bildend. Gelbe Farbe und grüne Farbe der Erbsenkotyledonen sollten z. B., um ein klassisches Material aus *Mendels* Arbeiten zu erwähnen, bei Kreuzung ein solches „Eigenschaftspaar“ bilden. Die eine Eigenschaft — hier gelb — sollte über den anderen „Paarling“ — hier grün — dominieren. Daraus eben die Wörter Dominanz, Prävalenz u. a. m., z. B. „recessive Eigenschaft“. Jetzt aber ist man allmählich zu der Auffassung gekommen, daß es sich bei einfacher Heterozygotität um die Anwesenheit oder Abwesenheit nur eines genotypischen Faktors handelt; von einer ungleichen Paarung zweier Faktoren ist nicht die Rede.

Homozygotität in bezug auf einen Faktor kann also entweder dadurch bedingt sein, daß die beiden sich vereinigenden Gameten den Faktor mitbrachten oder aber, daß keine von den Gameten ihn mitführte. Heterozygotität ist dadurch bedingt, daß die eine Gamete einen Faktor mitführt, welcher der anderen Gamete fehlt. Die „Spaltung“ beruht

somit nicht darauf, daß zwei Eigenschaften (bzw. deren „Anlagen") sich trennen, sondern darauf, daß wegen der einseitigen Zufuhr des betreffenden Faktors nur die Hälfte der sich entwickelnden Gameten den Faktor erhalten — oder los werden — kann. Und damit sind wir zu der hier präzisierten Auffassung gekommen, daß Dominanz nicht Unterdrückung einer antagonistischen Eigenschaft ist, sondern, wie soeben gesagt, Auftreten der vom betreffenden Faktor abhängigen Reaktion, selbst wenn der Faktor nur einseitig der Zygote zugeführt ist.

In den bis jetzt hier besprochenen Eigenschaften haben wir stets leicht Charaktere präzisieren können, die als „Einzeleigenschaften" auftraten, d. h. die anscheinend durch je einen selbständigen, abspaltbaren genotypischen Faktor bedingt waren. Solche selbständige Faktoren werden wir Gene nennen; diese Bezeichnung hat sich als praktisch gezeigt und das Wort Gen (der Stamm von „Genesis" usw.) präjudiziert gar nichts in theoretischer Richtung. Es ist nur ein neutraler, nicht durch frühere Verwendung kompromittierter Ausdruck für die jetzt gewonnene Erfahrung, daß der Genotypus der Organismen jedenfalls teilweise aus selbständigen, trennbaren Elementen („Erbeinheiten", wie sie auch genannt werden), besteht, die wir eben Gene nennen wollen. In dem Löwenmaul-, Bohnen- und Schneckenbeispielen könnte man versucht sein, von Genen für Rot, für Lippe, für Gelb, für Violett usw. zu reden. Dies ist aber gar nicht berechtigt. Das Auftreten eines Charakters als „Einzeleigenschaft" ist nämlich, ganz abgesehen vom Einfluß der Lebenslage auf die Art seiner Realisation, von den — man könnte sagen recht zufälligen — Unterschieden zwischen den bei der betreffenden Kreuzung beteiligten P-Formen abhängig.

Fig. 63.



Kreuzung einer rotblühenden und weißblühenden Levkoje. Schwarz deutet Rot an. Die Buchstaben der P-Formen geben deren hier interessierende, später zu erklärende genotypischen Beschaffenheiten an; dasselbe gilt für die Buchstaben bei F_1. Dagegen bezeichnen die Buchstaben der F_2-Generation deren Phänotypen. Das Verhältnis 3 : 1 zeigt an, daß hier ein Fall nur einfacher Heterozygotität vorliegt.

An Hand der höchst lehrreichen Levkojenkreuzungen *Miss Saunders* werden wir dieses näher beleuchten. Die betreffenden Figuren (63—75) sind alle freie Kompositionen schematischer Natur, für unsere Diskussion der vorliegenden Tatsachen speziell ausgeführt. Auch ist die Darstellung der Sache unserem speziellen Zwecke angepaßt.

Eine rotblühende Levkoje mit einer weißblühenden gekreuzt, kann ein Resultat ergeben, das ganz mit dem einfachen Schema der Fig. 59 stimmt; vgl. Fig. 63. In diesem Falle liegt somit einfache Heterozygotität bei F_1 vor. Und „Rot" erscheint als „Einzeleigenschaft". Die rote (sowie blaue u. dgl.) Farbe tritt im Zellsaft gelöst auf („Saftfarbe"), während z. B.

die gelbe oder cremeartige Farbe verschiedener Levkojenformen ihren Sitz in den plasmatischen Strukturen (Chromatophoren) haben.

Wird eine cremefarbig blühende Levkoje mit einer weißblühenden gekreuzt, so kann man auch ein ganz einfaches *Mendel*sches Verhalten finden (Fig. 64). Nach einem solchen Versuch könnte man „Cremefarbig“ als Einzeleigenschaft ansehen. Auch die Flaumhaarigkeit verschiedener saftfarbiger Levkojenrosen kann den Eindruck einer „Einzeleigenschaft“ machen, da nämlich in bestimmten Kreuzungen die Flaumhaarigkeit in ganz einfacher Weise gegenüber Nichthaarigkeit „mendelt“ (Fig. 65).

Haarigkeit, Cremefarbe und z. B. rote Saftfarbe wären demnach als charakteristische Einzeleigenschaften der Levkojenrosen anzusehen. Sehr

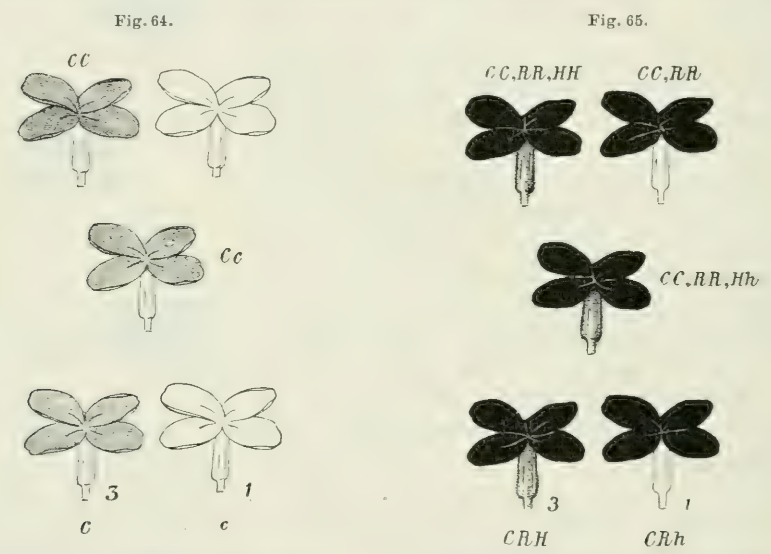


Fig. 64.

Kreuzung einer cremefarbigen und weißen Levkoje. Punktiert gibt cremefarbig an. Buchstabenanordnung wie in Fig. 63. Hier liegt einfache Heterozygotität vor, indem die F_2-Generation das Verhältnis 3 : 1 der auftretenden Phänotypen zeigt.

Fig. 65.

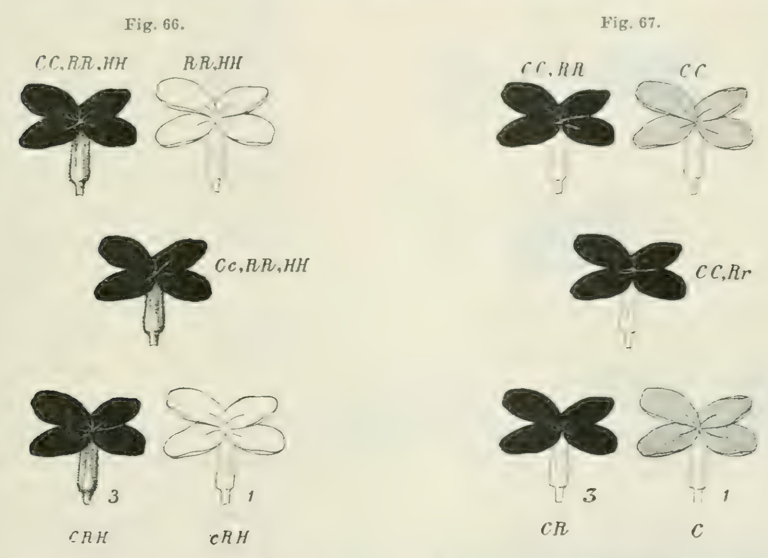
Kreuzung einer rotblühend und flaumhaarigen Levkojenrasse mit einer rotblühenden, nicht haarigen Rasse. Einfache Heterozygotität, darum das Verhältnis wie 3 : 1 in F_2. Buchstabenanordnung wie in Fig. 63 angegeben.

bald aber zeigten sich bei den Levkojenkreuzungen Schwierigkeiten verschiedener Art. So konnten gewisse Eigenschaften in eigentümlicher Weise „verkoppelt“ auftreten, wie es z. B. aus Fig. 66 hervorgeht. „Rot“ und „Haarig“, obwohl jede für sich in anderen Kreuzungen als „Einfacheigenschaften“ auftretend (Fig. 63 und 65), erscheinen hier als nur eine Einheit, die man deshalb als Resultat einer „Verkoppelung“ oder als Ausdruck einer „Korrelation“ ansehen könnte.

Und, wie die Fig. 67 illustriert, kann es auch bei Kreuzungen vorkommen, daß *P*-Formen, die, nach früheren Erfahrungen zu beurteilen, in zwei Punkten differieren sollten, dennoch als F_1 eine nur e i n f a c h e Heterozygote bilden. In Fig. 63 war „Rot“ als Einzeleigenschaft aufgetreten,

in Fig. 64 war dasselbe mit „Creme“ der Fall; hier aber dominiert „Rot“ über „Creme“ — ganz der älteren Anschauung eines Eigenschaftspaares entsprechend.

Und so häuften sich die Schwierigkeiten. Schon *Correns* und *Tschermak* hatten verdienstliche Arbeiten gerade mit Levkojen gemacht: die (relativ) vollkommenste Lösung der Schwierigkeiten gelang aber erst Miss *Saunders* und *Bateson*. Zunächst wurde die Analyse der Eigenschaft „Rot“ ausgeführt. In einer bestimmten Kreuzung von „Rot“ mit „Weiß“ (Fig. 68) wurde F_1, wie es zu erwarten war, Rot; aber F_2 zeigte drei verschiedene Phänotypen, nämlich Rot, Creme und Weiß, und zwar im Verhältnis von 9 : 3 : 4. Dieses aber deutet zweifache Heterozygotität an.



Kreuzung einer rotblühenden und haarigen Levkojenrasse mit einer weißen, nicht haarigen Rasse. Hier ist nur einfache Heterozygotität in F_1, darum in F_2 das Verhältnis 3 : 1. Buchstabenanordnung wie in Fig. 63.

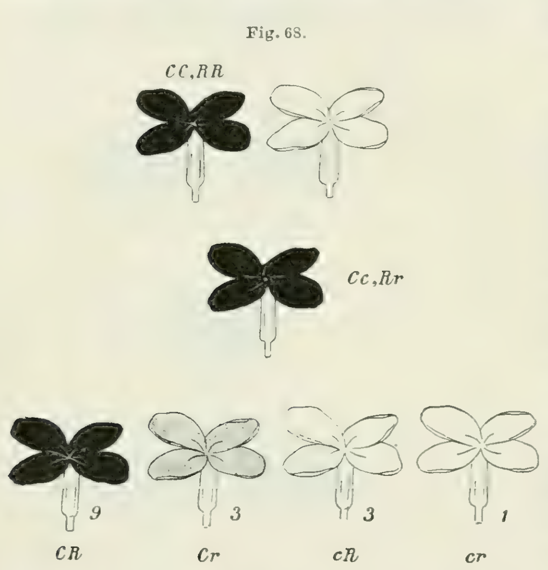
Kreuzung einer rotfarbigen Levkojenrasse mit einer cremefarbigen. Hier liegt nur einfache Heterozygotität vor, wie das Verhältnis 3 : 1 andeutet. Buchstabenanordnung wie in Fig. 63.

Die 4 weißen Individuen pro 16 müssen nämlich verschieden sein: ein Individuum muß ja rein „recessiv“ sein. Und das ganze Resultat zeigt, daß „Rot“ hier nicht eine Einzeleigenschaft war, sondern durch (wenigstens) zwei Gene bedingt sein muß. Man könnte nicht dagegen einwenden, daß in der roten *P*-Rasse das Creme vom Rot gewissermaßen nur verdeckt war: denn wären sowohl Rot als Creme selbständige „Einzeleigenschaften“, müßten wir hier in F_2 9 Rot (mit Creme), 3 Rot allein, 3 Creme und 1 Weiß finden, ganz der Fig. 61 (S. 96) entsprechend. Dort sind ja die beiden fraglichen dominierenden Erscheinungen „Rot“ und „Lippe“ von einander unabhängig: hier aber ist „Rot“ nur als „Creme“ + „Etwas“ aufzufassen, und wo dieses „Etwas“ allein auftritt, hat man nichts als Weiß.

Die vier phänotypisch gleichen Weißen der Fig. 68 fallen demnach in zwei Gruppen. Eines von den vier Individuen (pro 16) ist ganz ohne das genannte „Etwas"; von den drei übrigen enthält eines das „Etwas" homozygotisch, während zwei in dieser Beziehung heterozygotisch sind.

Dieses „Etwas" kann nur als ein Faktor aufgefaßt werden, welcher für sich allein nicht speziell zu spüren war, aber, im Zusammenwirken mit dem hier die Reaktion „Creme" bedingenden Faktor den Charakter „Rot" hervorruft. „Rot" ist also eine zusammengesetzte Reaktion, eine Konstruktion wie es ausgedrückt werden kann. Dieses wird bestätigt durch die Bildung von rotblühenden Individuen mittelst Kreuzung cremefarbig blühender und gewisser weißblühender Formen (Fig. 69). Während somit die Fig. 68 eine Analyse des „Rot" durch Kreuzung darstellt, illustriert die Fig. 69 Synthese des „Rot" bei F_1-Bildung. Derartiges Auftreten „neuer Eigenschaften" in F_1 hat früher eine große Rolle als Ausdruck des „Atavismus" gespielt; und man hat oft sehr luftige Spekulationen über „Rückschläge" zu fernen Vorfahren angestellt. Solche Spekulationen, die mit der veralteten Auffassung der Erblichkeit als einen „Übertragungsvorgang" zusammenhängen, lassen wir hier ganz beiseite; sie fördern die Erblichkeitsforschung absolut nicht.

Fig. 68.



Kreuzung einer rotblühenden Levkojenrasse mit einer weißen. Analyse der Eigenschaft „Rot". Zweifache Heterozygotität in F_1; darum F_2 in dem Verhältnis 9 : 3 : 3 : 1 gehalten. Buchstabenanordnung wie in Fig. 63.

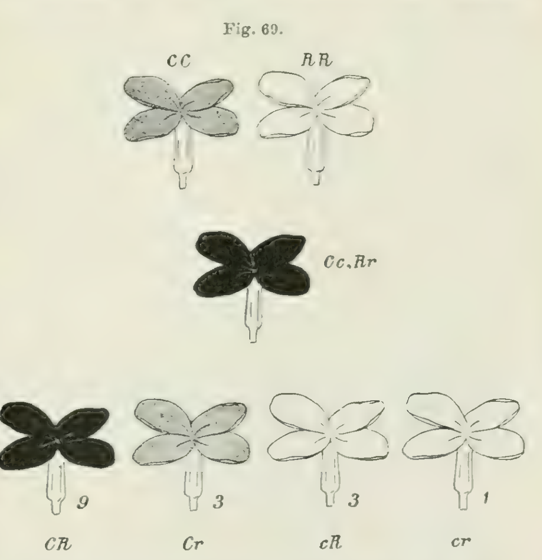
Die Entdeckung, daß selbständige trennbare Einheiten die Charaktere oder Eigenschaften bedingen, oder richtiger mitbedingen, führt zur Auffassung aller betreffenden Eigentümlichkeiten der Organismen als Reaktionen der in Frage kommenden Einheiten der genotypischen Grundlage. Die verschiedenen bei den Phänotypen sich manifestierenden Eigenschaften sind also als Reaktionen des Genenkomplexes zu betrachten; und die Bedeutung des einzelnen Genes kann offenbar recht verschieden sein, je nach der Anwesenheit oder Abwesenheit anderer Gene. Ein bestimmtes Gen mag viele Reaktionen im Organismus beeinflussen, und umgekehrt mag eine Reaktion durch verschiedene Gene bedingt sein. Dieses letztere ist deutlich mit dem „Rot" der Fig. 68—69 der Fall. Es hat dies eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Verhalten chemischer Verbindungen oder Lösungen von Stoffgemischen usw. Man gedenke nur

der berühmten Stärke-Jod-Reaktion: tiefblaue Farbe. Diese Reaktion ist eine „Konstruktion" wie das „Rot" in Fig. 69; Jod, braun + Stärke, weiß, gibt als „neue Eigenschaft" Tiefblau — so in Fig. 69: Cremefarbig mit Weiß gekreuzt gibt „Rot".

Und wie man in der Chemie eine schön durchgeführte Zeichensprache hat, so ist es ein Ideal der Erblichkeitsforschung, in ähnlicher präziser Weise die Genotypen der Organismen — also die Genenkomplexe, welche die biologischen Reaktionen bedingen — ausdrücken zu können. Hier stehen wir aber bei den allerersten tastenden Anfängen.

Die chemischen Formeln der am genauesten bekannten Substanzen geben nicht nur die Zusammensetzung an, z. B. die prozentische Menge von Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff u. a. einer organischen Verbindung, sondern sie deuten wenigstens die Reaktionsnorm der betreffenden Verbindung an. Und dies ist der Hauptzweck der speziellen Formeln. Jeder kleinste Teil der betreffenden Verbindung hat die gleiche Reaktionsnorm.

Fig. 69.



Kreuzung einer cremefarbigen Levkojenrasse mit einer weißen. Konstruktion der Eigenschaft „Rot". Zweifache Heterozygotität in F_1; darum F_2 in 9 : 3 : 3 : 1 gespalten. F_1 ist gleich F_1 der Fig. 68. Buchstabenanordnung wie in Fig. 63.

Die genotypische Grundlage eines Organismus bedingt dessen Reaktionen, ja sie prägt alle seine Charaktere, von den morphologischen Formcharakteren bis zu den chemischen Stoffwechseleigentümlichkeiten einerseits und den Instinkten und Nervenfunktionen andrerseits. Insofern macht eigentlich die genotypische Grundlage die Reaktionsnorm des Organismus aus. Was wir hier Gene nennen, sind nicht etwa Gebilde, die speziell ihren „Sitz" in den Gameten haben und von dort aus — bzw. von der durch Befruchtung entstehenden jungen Zygote aus — die Entwicklung des neuen Individuums „determinieren". Solche Vorstellungen sind wohl jetzt nicht mehr aufrecht zu halten, ebensowenig wie die Auffassung, daß die Gene nur in den Chromosomen der Kerne ihren Platz haben. Die genotypische Grundlage durchdringt offenbar den Gesamtorganismus; jeder kleinste, entwicklungsfähige Teil eines Organismus ist von der betreffenden genotypischen Grundlage geprägt, wie dies sich so augenscheinlich bei den vegetativen Vermehrungserscheinungen der Pflanzen zeigt.

Das Ideal wäre nun durchgeführte genotypische Strukturformel für die verschiedenen Rassen der Organismen, ganz den chemischen Formeln

entsprechend. Wie weit sind wir aber noch von diesem Ideal entfernt — wie viel komplizierter als chemische Verbindungen sind aber auch die Organismen: die Zellen sind ja eigentlich besser mit ganzen chemischen Laboratorien zu vergleichen!

Die bescheidenste Art, mit genotypischen Formeln anzufangen, ist die, daß man jeden erkannten selbständigen (d. h. bei Kreuzung abspaltbaren) Faktor, also jedes Gen, mit einem Buchstaben bezeichnet. Dabei muß man aber hervorheben, daß der unbekannte Rest das weitaus meiste ausmacht! Ein homozygotischer Organismus wird somit etwa folgende allgemeine Formel haben:

$$AA,\ BB,\ CC,\ DD\ \ldots\ldots\ XX,$$

wenn mit X der unbekannte große Rest bezeichnet wird. Ein anderer homozygotischer Organismus mag, soweit die Analyse geführt ist, etwa so auszudrücken sein:

$$AA,\ BB,\ DD\ \ldots\ldots\ YY,$$

und die Gameten dieser beiden Organismen wären alsdann mit A, B, C, D ..... X, bzw. A, B, D ..... Y auszudrücken. Das heterozygotische „Kreuzungsprodukt“ F_1 solcher Gameten wäre mit

$$AA,\ BB,\ Cc,\ DD,\ldots (XY)$$

zu bezeichnen. Der kleine Buchstabe c wird als Zeichen benutzt, um leichter mit der Generation F_2 Rechenschaft zu halten. Mit den a priori unbekannten X und Y ist aber nicht leicht zu operieren; sie mögen gleich sein, und dann liegt hier einfache Heterozygotität vor — das ganze Resultat der Kreuzung muß darüber näher entscheiden. Hier können große Überraschungen auftreten.

Wir haben schon früher mit solchen Buchstabenformeln gearbeitet, vgl. Fig. 62 nebst Erklärung. Dort traten in anschaulicher Weise E i g e n s c h a f t e n als „Einheiten“ hervor. Wir sehen jetzt ein, daß dieses nicht sicher maßgebend ist, und wenden uns an die Levkojen der Fig. 68 und 69. Das „Rot“ ist eine Konstruktion aus zwei Genen; wir nennen das eine Gen C (colour-factor nach Miss *Saunders*) und das andere R (reaction-factor). In Fig. 68 waren also die beiden P-Formen durch die Formeln

$$..\ CC,\ RR\ ..\ XX;\ \text{und}\ \ldots\ldots\ XX$$

charakterisiert; der unbekannte „Rest“ scheint hier offenbar in beiden Rassen gleich zu sein. Die Heterozygote F_1 ist demnach

$$..\ Cc,\ Rr\ ..\ XX$$

und die Spaltung in F_2 leicht zu berechnen; 4 Gametenverschiedenheiten sind hier möglich, daraus 16 Kombinationen, dem Schema Seite 97 entsprechend; für die dortigen Buchstaben L und l brauchen hier nur C und c eingesetzt zu werden.

Für Fig. 69 ergibt sich genau das gleiche in bezug auf F_1; hier sind die P-Rassen mit

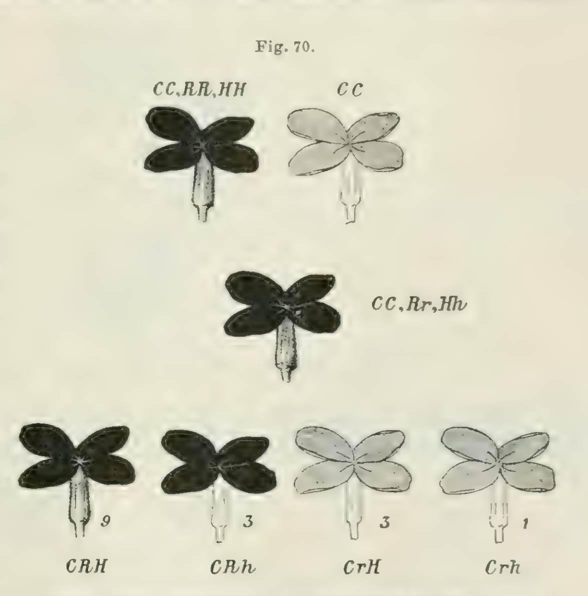
$$..\ CC\ ..\ XX\ \text{und}\ ..\ RR\ ..\ XX$$

zu bezeichnen; F_1 wird wiederum . . *Cc, Rr* . . . *XX* und die Spaltung in F_2 ganz wie vorher.

Die faktische genotypische Beschaffenheit von F_1, nicht aber die Geschichte seiner Bildung, bedingt die Beschaffenheit von F_2. Der Einfluß der persönlichen Beschaffenheit der Vorfahren hat gar nichts zu sagen: in Fig. 68 mag die eine Hälfte der Vorfahren rot, in Fig. 69 creme gefärbt sein; es ändert dieses nicht im geringsten das Verhältnis 9 : 3 : 3 : 1 in F_2.

Die Haarigkeit der saftgefärbten Levkojen wurde aber auch von Miss *Saunders* analysiert, und damit kommen wir zum Abschluß dieser schönen, aber immerhin nur relativen Analysen. Die Fig. 70 illustriert eine partielle Analyse des Eigenschaftskomplexes „Rot und Haarig". Wir wissen aus Fig. 69, daß „Rot" eine Konstruktion aus *C* und *R* ist. Wenn also „Rot und Haarig" mit Creme (dessen Formel hier *CC* war) gekreuzt wird, so ist F_1 in bezug auf Rot nur einfach heterozygotisch. Wir können also in F_2 Rot: Creme im Verhältnis 3 : 1 erwarten. Dies stimmt auch; Fig. 70 zeigt 9 + 3 Rot: 3 + 1 Creme, also 12 : 4 = 3 : 1. Die Haarigkeit aber tritt in F_2 im Verhältnis 9 : 7 auf und stets nur mit Rot kombiniert. 9 : 7 aber leitet sich aus 9 : 3 : 3 : 1 ab: Rot, unbehaart, tritt ja auch in der Dreizahl pro 16 auf. Somit ist hier in F_1 zweifache Heterozygotität vorhanden: und Haarigkeit muß durch die Faktoren für Rot + „Etwas" bedingt sein. Nennen wir dieses „Etwas" *H* (Haarfaktor), kann die Formel der *P*-Rassen in Fig. 70 gegeben werden, nämlich

Fig. 70.



Kreuzung einer rotblühenden, haarigen Rasse mit einer cremefarbigen. Zweifache Heterozygotität. Partielle Analyse der in Fig. 66 als „Einheit" auftretenden Erscheinung „Rot und haarig". Buchstaben näher im Text erwähnt; Anordnung wie in Fig. 63.

. . *CC, RR, HH* . . *XX*; und . . *CC* . . *XX*.

F_1 wird mit

. . *CC, Rr, Hh* . . *XX*

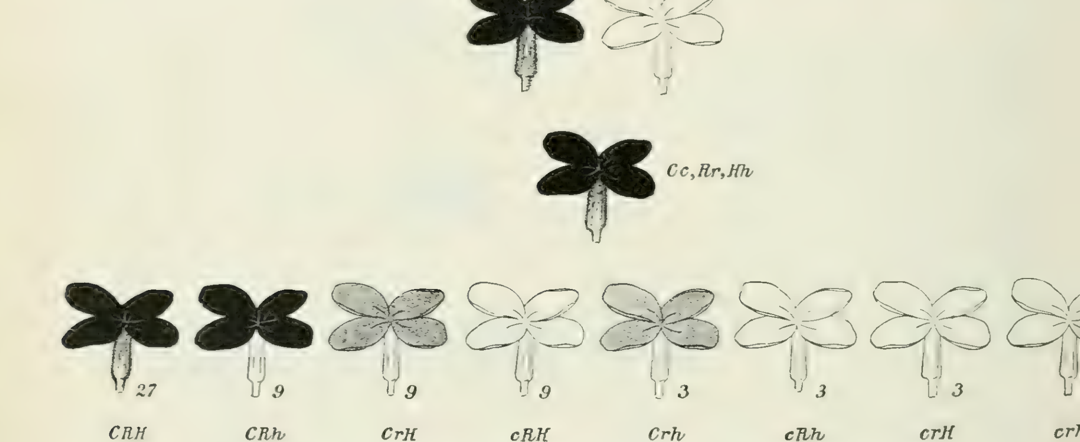
zu bezeichnen sein, und die Spaltung ist leicht zu verstehen. Da *C* überall homozygotisch gegenwärtig ist, hat man nur mit *R* und *H*, bzw. *r* und *h* zu arbeiten, um F_2 in 9 : 3 : 3 : 1 einzuteilen. Hier in Fig. 70 treffen wir aber zwei äußerlich nicht zu unterscheidende „Creme"-Phänotypen,

bzw. mit und ohne *H*. Wäre die Kreuzung der Fig. 70 mit Creme *CC*, *HH* statt mit *CC* ausgeführt, so hätte man keine Analyse der „Haarigkeit“ erhalten, sondern einfache Dominanz von „Rot haarig“ über „Creme“ etwa wie in Fig. 66. Die Spaltung der Heterozygote F_1 *(CC, Rr, HH)* würde in einem solchen Falle 3 Rote, haarig (von *C*, *R*, *H* geprägt) und 1 Creme *(C, r, H)* ergeben haben.

Die relativ vollkommenste Analyse wird erhalten bei der größten Anzahl Differenzpunkte der *P*-Rassen.

Die Fig. 71 illustriert die Miss *Saunders*sche Analyse der roten, haarigen Levkojen. Aus diesem Kreuzungsversuch geht unmittelbar das Ver-

Fig. 71.



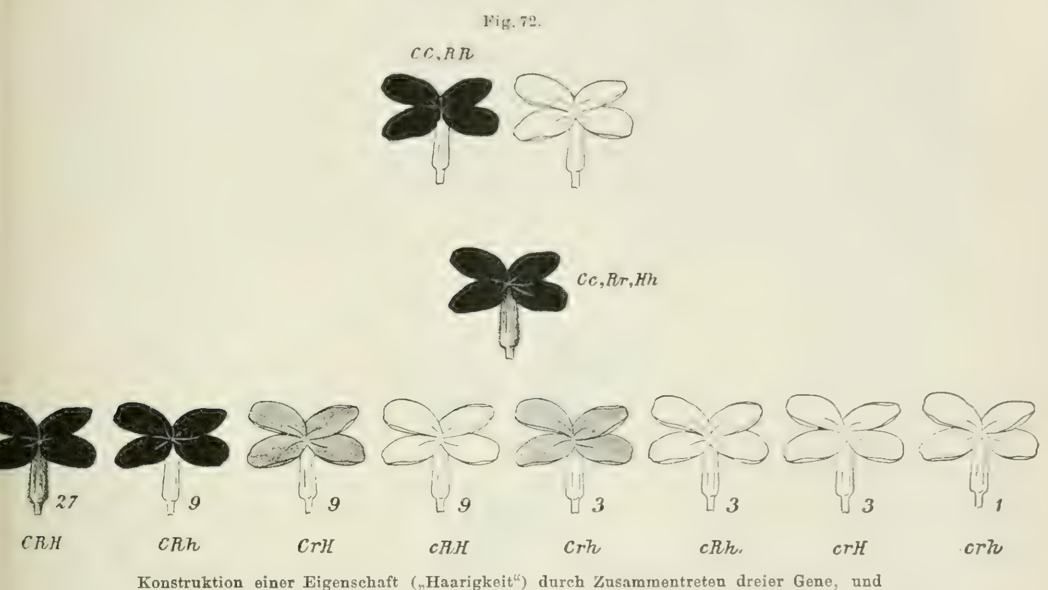
Die am weitesten geführte Analyse einer rotblühenden, haarigen Levkojenrasse. Drei Differenzpunkte zwischen den *P*-Rassen; demnach F_1 dreifach heterozygotisch und F_2 im Verhältnis 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1 gespalten. Buchstabenanordnung wie in Fig. 63, also in der untersten Reihe die Phänotypen präzisierend, ohne Rücksicht auf Homo- oder Heterozygotität. *R* und *H*, für sich allein oder im Verein, geben keine hier in Frage kommende Reaktion.

hältnis 27 Rot und Haarig : 9 Rot : 12 Creme : 16 Weiß hervor. Hier sind also nur vier Phänotypen in F_2 realisiert. Es läßt sich das jedoch aus den hier schon erwähnten Erfahrungen sehr leicht verstehen. Wie es die Buchstaben in Fig. 71 präzisieren, kommen zwei genotypisch verschiedene, aber phänotypisch gleiche, cremefarbig blühende *(C-)*Gruppen vor, eine mit *H*, eine ohne *H*: beide selbstverständlich ohne *R*, vgl. Fig. 70. Und von weißblühenden Pflanzen kommen gar vier genotypisch verschiedene Gruppen vor, alle phänotypisch gleich; nämlich 1. mit *R* und *H*, 2. mit *R*, 3. mit *H* und 4. ohne beide Faktoren.

Die Fig. 66 wird nun leicht verstanden: sie illustriert die Kreuzung einer homozygotisch rot und haarigen Rasse mit einer homozygotisch *R* und *H* enthaltenden, weißen Rasse. Und auch die anderen scheinbaren

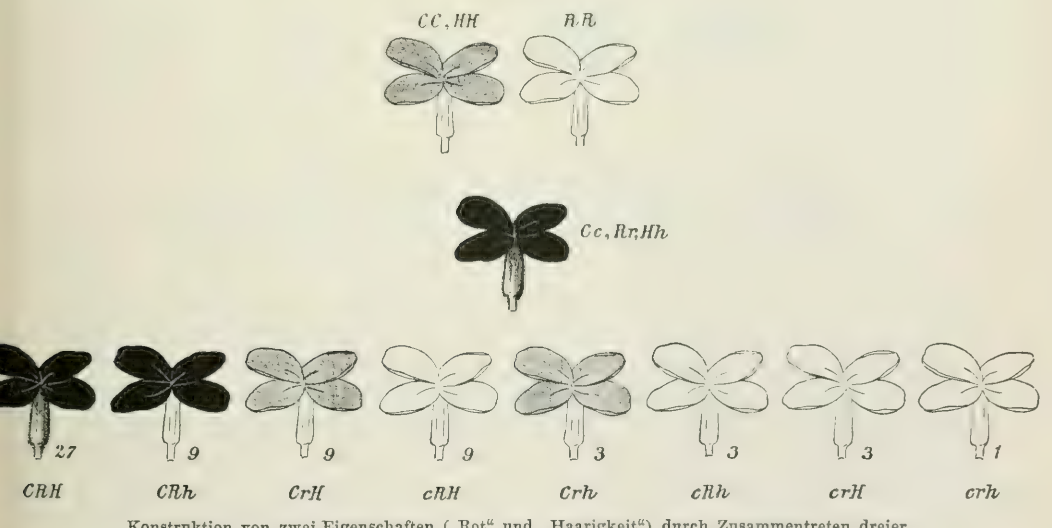
Unregelmäßigkeiten in bezug auf „Einheitlichkeit“ der fraglichen Eigenschaften (vgl. Fig. 63—65) werden jetzt völlig klar mit Hilfe der den

Fig. 72.



Konstruktion einer Eigenschaft („Haarigkeit“) durch Zusammentreten dreier Gene, und die folgende Spaltung der F_2-Generation. F_1 und F_2 wie in Fig. 71.

Fig. 73.



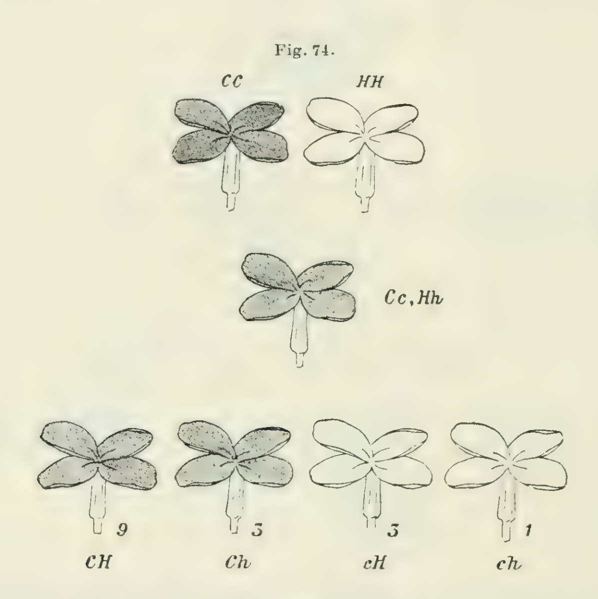
Konstruktion von zwei Eigenschaften („Rot“ und „Haarigkeit“) durch Zusammentreten dreier Gene, und die folgende Spaltung der F_2-Generation. F_1 und F_2 wie in Fig. 71 und 72.

Bildern beigefügten Buchstaben, die also überall diese Bedeutungen haben: *C* Farbenfaktor, etwa Chromogen bedingend; *R* Reaktionsfaktor, etwa Oxy-

dase bedingend, die mit Chromogen Farbenreaktion gibt, und H „Haarfaktor", welcher eben nur wenn zugleich auch C und R vorhanden sind (neben möglichen anderen hier nicht aufgefundenen Faktoren), eine Haarbildung als Reaktion bedingt.

Die beiden vorhergehenden Fig. 72 und 73 entsprechen, was die Phänotypen der P-Rassen betrifft, völlig den früheren Fig. 63 und 68 bzw. Fig. 64 und 69. Während aber in Fig. 63 und 64 einfache Heterozygotität in F_1 realisiert war, und in den Fig. 68 und 69 zweifache Heterozygotität auftrat, haben wir hier dreifache Heterozygotität ganz, wie in Fig. 71.

Fig. 74.



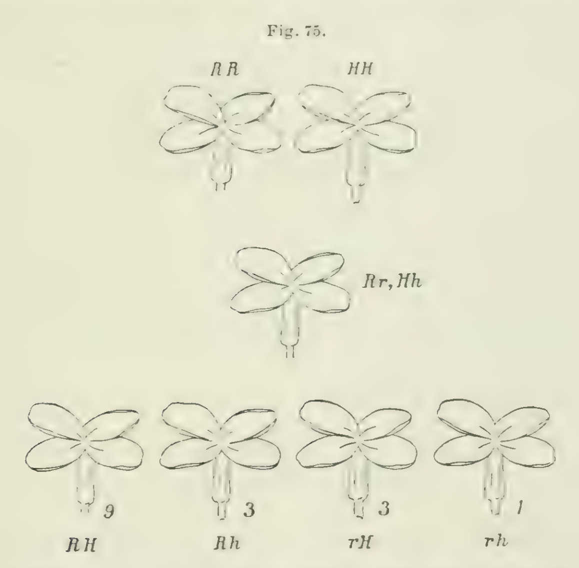
Kreuzung einer cremefarbigen Levkojenrasse mit einer weißen. Zweifache Heterozygotität liegt vor, kann aber direkt nicht beobachtet werden, indem F_2 in einfacher Weise in 3 Creme: 1 Weiß pro 4, also 12 : 4 pro 16 gespalten ist. Die Beschaffenheit der verschiedenen Gruppen in F_2 läßt sich nur durch weitere spezielle Kreuzungen erforschen. (Z. B. Gameten mit CH geben mit R vereinigt „Rot, Haarig"; C mit R gibt „Rot"; H mit CR gekreuzt gibt „Rot, Haarig" usw.)

In der Fig. 72 wird eine Eigenschaft „konstruiert"; in der Fig. 73 werden zwei Eigenschaften „konstruiert", während in Fig. 71 nur von Analyse die Rede sein konnte, indem dort die höchste Komplikation schon in der einen P-Rasse realisiert war. Die gegebenen Levkojenfiguren illustrieren wohl zur Genüge, daß man den Phänotypen nicht immer ansehen kann, wie die betreffenden Organismen genotypisch beschaffen sind. Um aber dieses noch stärker einzuprägen, seien hier die Fig. 74 und 75 beigefügt. Aus der ersten wird ersichtlich, daß das Zahlenverhältnis 3 : 1 zweier Phänotypen eigentlich gar keine Garantie gibt, daß nur einfache Heterozygotität in F_1 vorliegt. Und Fig. 75, die eine sozusagen ganz blinde Kreuzung darstellt, in welcher sogar zweifache Heterozygotität obwaltet,

zeigt in eigentlich fast entmutigender Weise, daß eine anscheinend ganz einheitliche Rasse aus genotypisch recht verschieden beschaffenen Individuen bestehen kann, deren Unterschiede nicht durch einfache Nachkommenbeurteilung erkannt werden können. In solchen Fällen läßt sich eine Bestandesanalyse nach dem Prinzip der reinen Linien nicht ausführen. Und wird eine solche anscheinend reine Rasse zu Kreuzungsversuchen verwendet, so können sehr große Unregelmäßigkeiten auftreten, die als mit *Mendels* Gesetzen unvereinbar aufgefaßt werden können — bis eine durchgeführte Analyse vorliegt!

Gerade mit den Albinos unter den Tieren, speziell mit Kaninchen, Mäusen und anderen Nagern, hat man sehr interessante Erfahrungen ge-

Fig. 75.



„Blinde“ Kreuzung weißer Levkojen mit zwei genotypischen Differenzpunkten. Alle Individuen einem einzigen Phänotypus gehörig: anscheinend also Repräsentanten einer und derselben Rasse.

macht. *Cuénot* war wohl der erste, welcher erkannte, daß Albinos recht verschiedene genotypische Faktoren der Farbenbildung enthalten können, und daß daraus bei Kreuzungen recht komplizierte Verhältnisse resultieren können. Die am weitesten durchgeführten Kreuzungsanalysen bei diesen wegen ihrer Fruchtbarkeit für die Erblichkeitsforschung besonders geeigneten Tieren sind von dem amerikanischen Forscher *W. E. Castle* ausgeführt worden. Anfangs hatte es den Anschein, als ob die betreffenden Farben-Vererbungsverhältnisse nicht dem *Mendel*schen Schema entsprechen würden. *Castle* und seine Mitarbeiter haben aber jetzt in überzeugender Weise gezeigt, daß hier wirklich völlige Übereinstimmung vorliegt.

Castle hat für die Farbeneigenschaften der Kaninchen wenigstens 8 verschiedene Faktoren (Gene) nachgewiesen, durch deren Zusammen-

wirken die Farben und Muster der Haare dieser Tiere bedingt sind. Es würde viel zu weit führen, hier darauf näher einzugehen; es sei aber die Gametenformel der Farbe des wildgrauen Kaninchens mitgeteilt, wie sie *Castle* dargestellt hat.

Die 8 Faktoren, welche diese vermutlich „höchst komplizierte“ Farbe (das „Rot und behaart“ der Fig. 71 entsprechend) bedingen, sind 1. ein Farbenfaktor, mit C (Chromogen) bezeichnet; 2. ein zweiter Farbenfaktor, mit Y (yellow, gelb) bezeichnet, welcher mit C meist gelbe Farbe bedingt, übrigens für alle anderen Farbenreaktionen auch nötig ist; 3. ein Faktor, welcher — mit C und Y — Braun bedingt, B^r; 4. ein Faktor, welcher — mit C und Y — Schwarz hervorruft, B (black, schwarz) und welcher, wenn B^r vorhanden, das Braune ganz decken kann; 5. ein Faktor für Intensität der Farbe, J, welcher die Farbenintensität bedingt; fehlt dieser Faktor, so wird die Farbenreaktion geschwächt, z. B. wird Schwarz blaugrau usw.; 6. ein Faktor für gleichmäßige Verteilung der Farbenreaktionen, mit U (Uniformität) bezeichnet; fehlt U, wird das Tier gescheckt; 7. ein Faktor für die Ausbreitung der Farbe, mit E (Extension) bezeichnet; fehlt E, bleibt die braune bzw. schwarze Farbe auf Extremitäten und Augen begrenzt; die gelbe Farbe wird aber dabei nicht affiziert. Endlich ist 8. ein Faktor als Sprenkelungsfaktor zu nennen, mit A (agouti = wildgrau gesprengelt) bezeichnet, welcher bewirkt, das jedes einzelne Haar — wenn sonst Farbenreaktion vorliegt — gesprenkelt wird.

Die Gametenformel für das komplett ausgestattete Tier wird nun, wie folgt, von *Castle* gegeben:

$$\begin{array}{ccc} & U & \\ & | & \\ A - & C & - Y \left\langle {B \atop B^r} \right\rangle E \\ & | & \\ & J & \end{array}$$

Hier wird zunächst die „zentrale“ Bedeutung von C angedeutet; ferner auch die Wichtigkeit von Y als Vermittler für B und B^r pointiert. Daß E nur auf die durch B und B^r bedingten Farben wirkt, tritt klar in der Formel hervor, wie auch die Bedeutung von U und J. Ob A den passendsten Platz erhalten hat, mag dahingestellt sein.

Jedenfalls sehen wir hier ein interessantes, wenn auch nur provisorisches und höchst revisionsbedürftiges Analogon zu den chemischen Formeln. Ob es nicht richtiger wäre, mit einem Faktor für Scheckung (etwa mit S als Bezeichnung) zu operieren, somit statt U in der obigen Formel s (fehlendes S), und ferner mit einem Faktor für Begrenzung der Farbe, etwa R (Restriktion), statt mit E — in der Formel also mit r statt E zu operieren — werden wir hier nicht diskutieren. Was als positiv oder negativ angesehen werden muß, läßt sich, wie schon S. 100 gesagt, nicht leicht bestimmen. Die Relativität aller genotypischen Bezeichnungen ist ja nur zu einleuchtend für den kritischen Forscher.

Bei Pflanzen hat *Baur*, in Fortsetzung seiner oben benutzten Arbeiten mit Antirrhinum, eine große Reihe von Genen, sogar über 20, nachgewiesen, welche die Farben, Zeichnungen und Formen der Krone beeinflussen. Daß die Komplikationen der betreffenden Reaktionen dabei sehr groß sein können, ist einleuchtend. Es gehört ein kolossal großes Material dazu, alle möglichen Kombinationen realisiert zu sehen.

Wenn nun auch der Umstand erwähnt wird, daß oft einige der Genen-Kombinationen weniger resistent als andere sind, bzw. nicht oder nur kurze Zeit lebensfähig sind, so wird klar, daß die Kreuzungsforschung mit großen Perturbationen ihrer Gesetze rechnen muß. Und es wird nur zu leicht verständlich, daß manchmal an die Berechtigung der *Mendel*schen Grundauffassung der „Spaltungs"ursachen gezweifelt worden ist. Selbst wo die Verhältnisse relativ einfach sind, können die zufälligen Variationen im Material Störungen bedingen, die nicht gleich zu verstehen sind.

In sehr vielen Fällen aber hat man so schöne Übereinstimmungen zwischen Beobachtung und Berechnung nach den *Mendel*schen Voraussetzungen gefunden, daß diese jedenfalls in gar vielen Fällen als berechtigt angesehen werden müssen. In anderen Fällen hat nähere Nachforschung die speziellen Gründe der Perturbation aufgedeckt, und diese Fälle sind dadurch erst recht Bestätiger des Mendelismus geworden. Ein einziges Beispiel mag genügen. *Correns* fand gelegentlich, daß die zu erwartende Spaltung des einfach heterozygotischen Bastardes aus einem Zuckermais (mit runzeligen durchscheinenden Körnern) und Stärkemais (mit prallen nicht durchscheinenden Körnern) in drei „Stärke" : 1 „Zucker" nicht richtig erfolgte. Von 8924 F_2-Körnern waren 7531 pralle Stärkemaiskörner, während nur 1393 runzelige Zuckermaiskörner waren. Dies ergibt das Verhältnis 3·376 : 0·624 pro 4. Der für zufällige Variation erlaubte Spielraum in diesem Falle (durch den sogenannten theoretischen mittleren Fehler, hier $\pm$ 0·018, gemessen) ist bei weitem nicht so groß, daß dadurch die Abweichung 0·376 erklärt werden kann. Hier stimmt ganz einfach das *Mendel*sche Verhältnis nicht! *Correns* aber zeigte, daß hier keine wirkliche Ausnahme von *Mendels* Voraussetzung vorliegt. Denn wurde die F_1-Generation nur mittelst Pollen von Zuckermais befruchtet, so wurden in gleicher Anzahl runzelige und pralle Körner erhalten. Und dies entspricht ja ganz den *Mendel*schen Voraussetzungen. Die Gameten-Genotypen, etwa *A* . . und *a* . . einer einfachen Heterozygote, *A a* . . . . . müssen, mit lauter recessiv geprägten Gameten, *a* . . . vereinigt, in gleicher Anzahl dominierend, *A a* . . und recessiv, *a a* . . . . geprägte Individuen ergeben. Durch diese ebenso einfache als präzise experimentelle Behandlung der Frage war die Schwierigkeit hier entfernt: offenbar konnten bei der freiwilligen Bestäubung der F_1-Generation die Pollenkörner mit dem Faktor der Stärkebildung schneller keimen oder sonst arbeiten als die anderen Pollenkörner.

Nicht immer ist die Sache so leicht zu klären. Und viele Schwierigkeiten harren noch der Erklärung. Eine Komplikation tritt auch gar nicht

selten dadurch ein, daß eine einfache Heterozygote, *Aa* .... qualitativ sowohl von *AA* .... als von *aa* ... abweicht. Solche Fälle sind als heterozygotische Konstruktionen zu bezeichnen. Gewisse Bohnenrassen, deren Samenschale einfarbig ist, z. B. weiß, gelb, braun usw., werden, wenn sie sich kreuzen, in F_1 Samen bilden, deren Schale gefleckt, marmoriert, ist. Und in F_2 tritt diese Eigenschaft im Verhältnis 2 : 2 pro 4 auf. *Shull* hat dieses Verhalten als Ausdruck heterozygotischer Konstruktion erkannt. Meistens sind übrigens derartige Musterbildungen in der Schale Eigenschaften, die auch sehr wohl homozygotisch bedingt sein können, also als feste Rassencharaktere auftreten können.

Berühmt sind die von *Bateson* studierten „blauen" Andalusierhühner, die als heterozygotische Konstruktion aus einer schwarzen und einer weißschwarzgefleckten Rasse gebildet werden. Sie sind nur heterozygotisch realisierbar und „spalten" stets in 1 Schwarz: 2 Andalusier: 1 Weißschwarzgefleckte pro 4. Sie werden darum auch stets durch Kreuzung „gemacht".

Allmählich solche Vorkommnisse verstehend, arbeitet sich der Mendelismus rüstig vorwärts. Die Charaktere, physische wie intellektuelle und moralische, der Menschen werden jetzt auch mit sehr gutem Erfolg vom *Mendel*schen Standpunkt studiert. *Hurst*, und jetzt namentlich auch *Davenport*, haben in sehr verdienstlicher Weise auf diesem Gebiete gearbeitet: auch die Pathologen haben jetzt vielfach der Sache erneutes Interesse zugewendet. Augenfarbe (ob rein blau bzw. blaugrau oder mit braun pigmentiert; diese Pigmentation dominierend), Haarfarbe (mehr kompliziert; rothaarig recessiv) und eine ganze Reihe von angeborenen Fehlern (Zweigliedrigkeit der Finger über normal dominierend; Nachtblindheit über normal dominierend; Farbenblindheit u. a. m. kompliziert und mit Einfluß der Sexualität usw.) sind schon in ihrer Übereinstimmung mit den *Mendel*schen Regeln nachgewiesen; und jetzt scheint es sogar höchst wahrscheinlich zu sein, daß die berühmte Mulattenfrage im Sinne des Mendelismus zu lösen ist.

Daß die Mulattenfarbe intramediär zwischen Neger und Weiß ist, ließe sich ohne weiteres begreifen (etwa Fig. 58, S. 93 entsprechend). Die Behauptung aber, daß die Mulattennachkommen eine im ganzen konstant „halb"gefärbte Rasse bilden, und daß auch die weiteren Verdünnungsgrade der Farbe („Quarteronen" usw. benannt) Ausdrücke ganz kontinuierlicher Übergänge der hier in Frage kommenden genotypischen Grundlage sind, steht ja recht augenfällig in Widerspruch mit dem Mendelismus. Die ganz neuen Arbeiten *Davenports* lassen aber keinen Zweifel mehr zu, daß wir hier nur anscheinend allmählich ineinander übergehende Gradationen haben; es dreht sich offenbar um eine Serie von Genen als Mitbedinger der Farbe. *Davenport* hat ganz entschieden deutliche Fälle von Abspaltung sehr heller Nachkommen aus Mulattenfamilien gefunden, und die ganze Sache erinnert an die von *Nilsson-Ehle* nachgewiesene genotypische Komplizität der rotbraunen Farbe der Körner gewisser Weizenvarietäten.

Überhaupt tritt die Frage jetzt stark in den Vordergrund der Forschung, ob es überhaupt Fälle gibt, wo Heterozygotität ohne Spaltung bei den Nachkommen möglich ist. Einige Fälle, die früher angeführt wurden, haben sich direkt als irrig erwiesen; und *Langs* und *Easts* Auseinandersetzungen und Experimente, mit den *Nilsson-Ehle*schen Erfahrungen übereinstimmend, weisen darauf hin, daß anscheinend „nichtspaltende intramediäre Kreuzungsprodukte“ nur Ausdrücke unvollständig durchgeführter Analysen sind.

In dieser Weise sind die von *East* selbst angegebenen Befunde für Mais und andere Pflanzen leicht zu verstehen; und die *Castle*schen Untersuchungen mit Kaninchenkreuzungen, die in bezug auf Dimensionen der verschiedenen Organe, z. B. Ohrenlänge, anscheinend „nichtspaltende Mittelformen“ ergaben, können der Kritik wohl nicht widerstehen.

Während *Castle* in bezug auf Farben die schon erwähnten schönen Resultate erreichte, die für die weitere Entwicklung der Erblichkeitsforschung ganz wesentliche Bedeutung haben werden, sind seine Untersuchungen mit den Dimensionsfaktoren schon dadurch unmaßgebend, daß sie gar nicht die naheliegende Möglichkeit berücksichtigen, daß die bei den Farbenreaktionen beteiligten Gene auch auf die Dimensionen Einfluß haben können. Sehen wir ja doch, daß die Farbenfaktoren der Levkojen auch bei der Reaktion „Haarbildung“ beteiligt waren; und bei meinen Bohnenkreuzungen habe ich nachweisen können, daß gewisse der farbenbedingenden Gene auch ganz bedeutenden Einfluß auf Größe und Form der Bohnen haben können. Da nun *Castles* zur Beleuchtung der Dimensionsverhältnisse herbeigezogenen Kreuzungen in bezug auf Farbenunterschiede höchst verschiedengradige Heterozygotität betreffen, lassen sie sich eigentlich nicht für den Zweck verwerten. Immer und immer muß daran festgehalten werden, daß einerseits phänotypisch einheitliche Reaktionen durch die Anwesenheit mehrerer Gene bedingt sein können (wie „Haarig“ der Levkojen durch wenigstens *C*, *R* und *H*, vgl. Fig. 73) und andrerseits ein einzelnes Gen mehrere Eigenschaften beeinflussen bzw. mitbestimmen kann (wie z. B. *C* oder *R* sowohl die Farbe als die Haarigkeit der Levkojen betrifft).

In bezug auf das Vorkommen nichtspaltender Heterozygoten muß auch daran erinnert werden, daß Apogamie (hier: Bildung keimungsfähiger Samen ohne Befruchtung, also ohne vorausgehende Gametenbildung) in bestimmten Fällen, z. B. bei Hieraciumbastarden die Nichtspaltung völlig erklärt, ohne daß damit die *Mendel*schen Voraussetzungen auch nur im allergeringsten affiziert werden. Die wichtigen Arbeiten von *Ostenfeld* und *Rosenberg* haben die Frage der Apogamie auf diesem Gebiete klar gelegt. Hatte ja *Mendel* bei seinen Hieraciumbastarden Spaltung nicht finden können, und somit selbst von seinen Regeln Ausnahmen konstatiert — die also jetzt nicht mehr als solche anzusehen sind.

Die Furcht, daß die Anzahl der zu berücksichtigenden Gene ins Ungereimte anwachsen könne, ist gelegentlich ausgesprochen worden. Dabei

ist aber zu bedenken, daß die nachgewiesenen „Faktoren“ alle ganz provisorischer Art sind, da das Resultat jeder Kreuzungsanalyse von der Anzahl der genotypischen Differenzpunkte der *P*-Formen abhängt. Höchst wahrscheinlich wird die Zukunft zeigen, daß viele bei einer „Eigenschaft“ beteiligten Faktoren auch mitwirkende Faktoren bei der Realisierung ganz anderer Charaktere sind. Ist dieses richtig, dann wird der jetzige Zustand des Mendelismus, durch die schnell anwachsende Anzahl neuer genotypischer Faktoren charakterisiert, von einer Periode abgelöst werden, in welcher viele solcher Faktoren identifiziert werden. Jedenfalls ist die genannte Furcht wohl übertrieben; die enormerweise zunehmende Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten bei Zunahme der selbständigen, abspaltenden Gene ist in dieser Verbindung auch von Interesse als beschwichtigendes Moment.

Eine Frage von allergrößtem Interesse, nämlich das Problem der Geschlechtsbestimmung, steht jetzt im Vordergrund der Forschung. Schon *Bateson* hat in seinen frühesten Studien über Variationen behauptet, daß der Geschlechtsdimorphismus in Verbindung mit den diskontinuierlichen Variationserscheinungen stehen muß; und seine Schule ist es auch gewesen, welche die ersten einschneidenden Untersuchungen durchgeführt hat. Auf zoologischem Gebiete haben *Doncaster* u. a., namentlich die amerikanischen Forscher *Wilson, Hunt Morgan* und *Spillmann*, auf botanischem Gebiete besonders *Correns* sowie *Raunkiär* die Frage behandelt. Als Hauptresultat geht hervor, daß das Geschlecht einer Zygote durch die genotypische Beschaffenheit der zur Zygote sich vereinigenden Gameten bestimmt ist. Jedenfalls gilt dieses, wo von scharf getrennten Geschlechtern (wie bei den meisten Tieren) die Rede ist.

Die näheren Umstände der Geschlechtsbestimmung sind in diesen Fällen vielleicht bei verschiedenen Organismen verschieden; es scheint aber, daß das eine Geschlecht homozygotisch bedingt ist, das andere dagegen heterozygotisch, und daß es sich dabei um nur einfache Heterozygotität dreht. Nach *Doncaster* ist anzunehmen, daß sein Objekt, der Schmetterling Abraxas grossulariata, homozygotisch maskuline Männchen und heterozygotisch feminine Weibchen habe, also mit Dominanz der Weiblichkeit. Falls man bei dieser Heterozygotität das die Weiblichkeit bedingende dominierende Gen mit dem Buchstaben *W* bezeichnet, so wäre eine weibliche Zygote mit *Ww* und eine männliche mit *w w* zu bezeichnen, indem *w* ja nur das Fehlen von *W* rechnungsmäßig ausdrücken soll. Und wie schon früher (S. 100) betont wurde, ist dabei noch gar nichts über Positivität oder Negativität des Faktors *W* gesagt. Die Befruchtung der Weibchen, *Ww*, von dem Männchen, *w w*, welche ja nur Gameten einer Art, nämlich *w*, führen, ergibt die beiden Kombinationen *Ww* und *w w* in gleicher Häufigkeit, was auch ganz wohl mit der Erfahrung stimmt.

Für andere Fälle könnte man aber an die Männchen als heterozygotisch und an die Weibchen als homozygotisch denken. Wären aber beide Geschlechter ursprünglich homozygotisch, so müßten die Nachkommen entweder im Verhältnis 3 : 1 geschlechtlich differenziert sein oder in 1 männ-

lich : 2 hermaphrodit : 1 weiblich geteilt sein: beides stimmt aber nicht mit der Erfahrung.

Auf die sehr komplizierte Beweisführung *Doncasters* und der übrigen Forscher kann schon aus Platzrücksichten hier nicht eingegangen werden. Daß es bei gewissen Insekten schon den Gameten angesehen werden kann, ob sie feminin oder maskulin determiniert sind, indem im ersteren Falle ein überzähliges Chromosom vorhanden ist, bestätigt selbstverständlich in schöner Weise die Auffassung, daß nachträgliche Behandlung des befruchteten Eies oder des Fötus (etwa wie *S. L. Schenk* mit seinen Diätvorschriften u. dgl. seinerzeit empfehlen wollte) gar keinen Einfluß auf die Sexualität haben wird. Aber solche Befunde beweisen ebenso selbstverständlich nicht, daß die betreffenden Chromosomen bzw. deren Abwesenheit die Ursache der Geschlechtsbestimmung seien. Sicher ist nur, daß sie sehr früh erkenntliche Symptome des Geschlechtsbestimmtseins sind. Das Mikroskop kann nun einmal nicht die Erblichkeitsgesetze klarlegen, wieviel auch dieses behauptet worden ist.

Gerade bei den hier in aller Kürze erwähnten Studien über Geschlechtsbestimmung wurden viele Fälle gefunden, bei denen spezielle Gene gewöhnlich mit dem einen der geschlechtsbestimmenden Faktoren verbunden waren, jedoch unter besonderen Umständen mit dem anderen Geschlechtsfaktor vereint auftreten konnten. Dieses ganze Studium scheint sehr viel zu versprechen, wie auch die schönen Untersuchungen über Polymorphismus der Schmetterlingsweibchen, welche *de Meijere* und *Punnet* ausgeführt haben. Für die auch medizinisch höchst wichtige Frage der geschlechtsgebundenen Abnormitäten und für das Studium der sekundären Geschlechtscharaktere, der rudimentären Organe u. a. m. können derartige Untersuchungen wie auch die *Meisenheimer*schen Arbeiten große Bedeutung erhalten. Es muß aber hier genügen, das Interesse dieser Probleme zu erwähnen.

III.

Blicken wir auf die Forschung des Mendelismus zurück, so erkennen wir, daß das Hauptresultat der gesamten Arbeit in der schönsten Übereinstimmung mit den Resultaten der Forschung nach dem Prinzip der reinen Linien steht: das feste in der unübersehbaren Mannigfaltigkeit und dem ewigen Wechsel der Organismenwelt sind die Genotypen oder vielmehr die einzelnen Gene, also die einheitlichen Faktoren der organischen Reaktionsnormen.

Die berühmte „Selektion“ ist als Mittel zur Veränderung der Genotypen völlig irrelevant; nicht die persönliche, phänotypische Beschaffenheit eines Organismus ist das erbliche, und Erblichkeit besteht nicht in einer „Überführung“ persönlicher Eigenschaften auf die Nachkommen. Die Sachlage ist ganz umgekehrt: die persönliche Beschaffenheit ist eine Funktion der genotypischen Grundlage, die ihrerseits — in allen den hier besprochenen Fällen wenigstens — völlig unabhängig vom phänotypischen

Charakter der Eltern bzw. Vorfahrengenerationen ist! Und wir sahen, daß nicht die Geschichte der Bildung oder der Konstruktion eines Genotypus für das Verhalten der betreffenden Organismen maßgebend ist, sondern, daß einzig und allein die tatsächlich realisierte Beschaffenheit des Genotypus in Frage kommt. Es ist dies ganz wie mit chemischen Körpern; sie haben keine präjudizierende Vorgeschichte. Wasser, H_2O, ist immer Wasser und reagiert immer als solches, wie auch die Geschichte oder die Geschichten seiner Elemente H, H und O gewesen sind. Diese scharf radikal formulierte „ahistorische“ Auffassung steht im schroffsten Widerspruche zu den älteren Auffassungen der Erblichkeit als eine Überführungssache, bei welcher eo ipso die Geschichte der früheren Generationen von Bedeutung sein sollte. und für welche die Bestimmung des vermeintlichen anzestralen Einflusses von Wichtigkeit sein mußte.

Alle Erfahrungen der Bestandesanalyse mittelst reiner Linien und der Eigenschaftsanalyse mittelst Kreuzung gehen samt und sonders darauf aus, daß ein anzestraler Einfluß in diesem Sinne, ein „Atavismus“ als eine Form von „Gedächtnis“ früherer Zustände oder Reaktionen im Organismus gar nicht existiert. *Darbishires* schöne Arbeit mit dem klassischen Objekt *Mendels*, grünen und gelben Erbsen, bestätigt diese Auffassung in direkter Weise. Die glatte Abspaltung der Gene redet ja auch in der allerdeutlichsten Weise dafür. Die durch Befruchtung gezeugten Organismen sind als Reaktionsprodukte des in der betreffenden Zygote realisierten genotypischen Status aufzufassen, wie dieses wohl am deutlichsten bei den verschiedenen „neuen Konstruktionen“ (vgl. die Fig. 71 bis 73) hervortritt.

So liegen die Dinge in streng theoretischer Fassung. In der Natur oder in den besten chemischen Fabriken sind die chemischen Körper wohl fast niemals ganz rein zu haben. Die Geschichte eines Präparates mag mitunter durch Unreinheiten angedeutet werden. Es wäre aber eine schöne Chemie, die nicht von solchen wechselnden Unreinheiten abstrahieren wollte. Was die Erblichkeitsforschung betrifft, so treffen wir hier als Analogon die Frage, ob die Reaktionen der genotypischen Konstruktion einer Gamete nicht gelegentlich von zufälligen oder anhängenden „Verunreinigungen“ seitens der Elternindividuen beeinflußt werden können.

Und wir sehen sofort eine lange Reihe solcher Fälle angeführt: die vielen Beispiele sogenannter „falscher“ Erblichkeit, wie z. B. Infektionen der Gameten oder Zygoten mit den Mikroorganismen der Tuberkulose, Syphilis usw. Solche Fälle können den Eindruck „erblicher Überführung“ oder „anzestralen Einflusses“ machen —, daß sie aber auch gar nichts mit der genotypischen Auffassung der Erblichkeit zu tun haben, ist wohl jedem Unbefangenen klar. Es gibt aber auch schwierige Fälle, wie z. B. die von *Correns* und *Baur* studierte, nur durch die Mutterpflanze „überführbare“ Weißbuntheit verschiedener Pflanzen, über die aber die Akten noch gar nicht geschlossen sind. Derartige Schwierigkeiten sind aber mit Freude zu begrüßen, denn sie verschärfen die Methoden sowie die Auffassungen — und

der herkömmliche Begriff „Erblichkeit“ hat wahrlich sehr viel Klärung nötig.

Die großen direkten Beeinflussungen in bezug auf Größe, Form und teilweise auch auf die vorläufige chemische Beschaffenheit der Embryonen bzw. der noch zarten Jungen, welche vom mütterlichen Organismus ausgehen können — der Fötus wird ja sozusagen in der Form des mütterlichen Organismus gegossen und von ihm zeitweilig ernährt —, dürfen auch nicht mit Vererbung in der genotypischen Bedeutung des Wortes verwechselt werden. So ist die vorläufige Immunität gegen gewisse Gifte, welche von der Mutter auf den Fötus überführt werden kann, durchaus keine Vererbungserscheinung. Ähnliches gilt für die Samen z. B. eines Baumes, welcher hartem Klima ausgesetzt ist: die Samen reifen am Baum unter denselben klimatischen Bedingungen und somit werden die jungen Embryonen ähnlichen Bedingungen ausgesetzt wie der Mutterbaum selbst. Haben diese speziellen Bedingungen eine bleibende Wirkung auf die in den Samen liegenden Embryonen gehabt, so ist dieses selbstverständlich nicht mit Erblichkeit seitens des Baumes zu verwechseln. Solche Verwechslungen kommen aber doch gelegentlich vor.

Ist also das Hauptresultat unserer Forschung die Auffassung, daß feste „Erbeinheiten“ (Gene, genotypische Faktoren oder wie man sie nun nennen mag) die Gesamtheit der bis jetzt erkannten Manifestationen wahrer Erblichkeit bedingen, so muß man darin eine Analogie zu den Erfahrungen der Chemie sehen. Die atomistische Struktur einer Substanz bedingt deren Reaktionen, wie die genotypische Beschaffenheit die Lebenserscheinungen eines Organismus bedingt: vielleicht aber ist es mehr adäquat, den Genotypus mit einem komplizierten organischen Molekül, zahlreiche Radikale und Seitenketten führend, zu vergleichen.

Und ein wesentlicher Zug in dieser Analogisierung ist dabei die Diskontinuität. Die Moleküle sind diskontinuierlich verschieden, so auch die Genotypen, wie wir sie auffassen müssen. Die Heterozygotenspaltung, das Nichtmischen der Genotypen, sondern die Unabhängigkeit und freie Kombinierbarkeit der Gene sind lauter Ausdrücke der Diskontinuität, des stoß- oder sprungweisen Unterschieds der Genotypen.

Nun haben uns aber die weiter durchgeführten Bestandesanalysen gelehrt, daß in gegebenen Beständen — sogar homozygotischer Selbstbestäuber wie z. B. vieler Bohnen-, Erbsen-, Gersterassen usw. — weit zahlreichere genotypische Unterschiede vorhanden sind, als man im Anfange der Analysen nach dem Prinzip der reinen Linien vermutete. Die aus einem Bestande isolierten Biotypen („reine Rassen“) sind oft in bezug auf eine gegebene Eigenschaft sehr wenig verschieden; meistens zeigen sie allerdings in bezug auf andere Charaktere größere Unterschiede — eine Tatsache, der wir hier aber nicht näher treten werden. Die genannten sehr kleinen Unterschiede für sich betrachtet, scheinen aber zu beweisen, daß ganz kontinuierliche Gradationen vorhanden sind, nicht nur zwischen

Individuen (vgl. die Fig. 56 und 57) und Phänotypen, sondern auch zwischen den zugrunde liegenden Genotypen selbst.

Räumen wir dieses auch ein (indem wir also von den anderen Eigenschaften und ihren Korrelationen mit dem fraglichen Charakter ganz absehen), so akzeptieren wir also sozusagen „kontinuierliche Übergänge" zwischen den Biotypen. Aber „Übergänge" ist ein sehr zweideutiges Wort. Hier ist nur von statischen Übergängen die Rede, wie wir sie in Sammlungen aller Art sehen — von genetischen Übergängen ist dabei aber noch gar nicht die Rede! Wie *Galton* schon längst scharf betont hat, ist aber „Kontinuität in Museen" durchaus nicht mit „Kontinuität im Ursprung" zu verwechseln. Alle die bisher beobachteten Änderungen in genotypischer Beschaffenheit — von den klar erkannten Abspaltungen bis zu den noch unerklärten „Mutationen" — haben sich samt und sonders als deutliche Sprünge, als diskontinuierlich, gezeigt. So auch in meinen eigenen Untersuchungen. Aus dem status quo eines Bestandes kann nun einmal nicht ohneweiters auf dessen genetische Geschichte geschlossen werden — daß aber gerade den Museumsforschern die Vorstellung einer kontinuierlichen Evolution nahe steht, ist recht begreiflich. Mit der Erfahrung stimmt sie aber nicht!

Wir sind dabei zur Frage der Mutation gelangt. Mit diesem Worte bezeichnet man die jetzt gar nicht selten beobachteten diskontinuierlichen Änderungen des Genotypus eines Organismus. Seit dem Erscheinen des berühmten *De Vries*schen Werkes: „Die Mutationstheorie" ist diese alte Bezeichnung wieder in vielfache Anwendung gekommen. Offenbar sind sehr viele hierher gerechnete Beobachtungen als Folgen von Heterozygotenspaltungen aufzufassen und die nähere Zukunft wird wohl hier manches klären.

Selbst die schönen grundlegenden Beobachtungen von *de Vries* über Mutationen der Nachtkerzenspezies Oenothera Lamarckiana werden jetzt von verschiedenen Forschern als Heterozygotenspaltungen aufgefaßt, — ob diese Auffassung aber überall hier zutrifft, ist wohl ziemlich zweifelhaft.

In reinen Linien meiner Bohnen- und Gerstekulturen habe ich selbst gelegentlich unzweideutige Mutationen gefunden, so — um nur ein einziges Beispiel zu nennen — in bezug auf Bohnendimensionen. Ganz unvermittelt trat in einer bis dahin genotypisch völlig konstanten reinen Linie ein Individuum auf, dessen Samen eine andere Größe und Form hatten, als sonst für die Linie charakteristisch war. Die Beweise dafür, daß keine Kreuzung hier mitgewirkt hat, sind zu weitläufig, um hier angeführt zu werden, nur sei gesagt, daß diese Linie die einzige weißblühende meiner Kulturen war; Kreuzung hätte also nicht unentdeckt bleiben können. Der Unterschied in der Länge der Bohnen zwischen Mutterform und Mutante könnte durch Fig. 56 *A* und *B* ganz gut illustriert sein; es dreht sich um eine deutliche Diskontinuität. Das Prägnante der Erscheinung ist selbstverständlich die Erblichkeit: der Genotypus der Mutante ist eben vom Genotypus der

ursprünglichen Form diskontinuierlich verschieden. Wir kommen auf diese Frage später zurück.

Wo die Mutationen unvermittelt, sozusagen „zufällig" auftreten, ist ihre Ursache nachträglich nicht zu finden. Daß viele Mutationen in Verlust eines Genes (z. B. während den Zellteilungen, die zur Gametenbildung führen) bestehen, ist ziemlich klar — Beispiele werden wir hier aber nicht anführen, indem solche zufällige Vorkommnisse wenig geeignet sind, Licht auf die hier interessierenden Grundprobleme zu werfen. Nur sei gesagt, daß Kreuzung von Mutanten mit der Ursprungsrasse oft sehr einfache Spaltungsverhältnisse in F_2 zeigen.

Für die Forschung viel wichtiger als die „zufälligen" Mutationen sind die experimentell hervorgerufenen Genotypusänderungen oder also die „künstlich hervorgerufenen Mutationen". Hier sind die Forschungen von *Tower*, *Mac Dougal*, *Blaringhem* u. a. sowie die älteren Arbeiten von *Standfuss*, *Schröder*, *Hansen* u. a. zu nennen.

Es würde aber viel zu weit führen, die betreffenden Experimente hier näher zu betrachten. Wo die Versuche genügend durchgeführt wurden, zeigte sich stets bei Kreuzung der „neu hervorgerufenen Form" mit der „Ursprungsform" ein den *Mendel*schen Regeln folgendes Verhalten. Hier seien die *Tower*schen Experimente als die umfassendsten und lehrreichsten hervorgehoben; einige der anderen Experimente werden wir noch später zu berücksichtigen haben.

Tower arbeitete mit Kartoffelkäfern (Leptinotarsa decemlineata). Wurden diese Insekten im Puppenstadium einige Zeit einer Temperatur von etwa 35° C und trockener Luft ausgesetzt, so erhielten die fertigen Käfer eine von der normalen abweichende Farbe. Diese abweichende Farbe wird aber nicht bei den Nachkommen wiedergefunden; sie ist hier also nicht erblich, sondern nur persönlich. Wenn aber normale Käfer, in welchen die Gameten in Entwicklung waren, der Hitze und Trockenheit ausgesetzt wurden, stellte sich die Sache anders: Die erwachsenen Käfer selbst wurden in ihrer Farbe — die ja nunmehr „fertig" ausgebildet war — nicht geändert, aber die Nachkommen erhielten das erwähnte Gepräge der Hitze und Trockenheit, also die abweichende Farbe, als fortan erbliche Eigenschaft.

Die Realisation einer neuen Eigenschaft, hier die aberrative Farbe, bei den Eltern persönlich, wurde also nicht von einer entsprechenden genotypischen Änderung der in diesen Eltern sich später bildenden Gameten gefolgt. Und, umgekehrt, die Beeinflussung der genotypischen Grundlage der Gameten durch die Hitzewirkung — sozusagen quer durch die Elterntiere — kann ohne Änderung der Beschaffenheit dieser Elterntiere selbst erfolgen. Man könnte hier sagen, die Eltern seien allerdings in bezug auf ihre Farbe nun einmal fertig, aber in ihrem „Inneren" sind doch solche Änderungen vorgegangen, daß sie „eigentlich" eine andere Farbe repräsentieren, was eben die Nachkommen zeigen. So aber ist es gar nicht!

Die Weibchen der Kartoffelkäfer legen ihre Eier nicht auf einmal; die Eier reifen vielmehr in fünf Perioden, etwa mit einer Woche Zwischenraum. Waren nun die Käfer eine Zeitlang der Hitze und Trockenheit ausgesetzt und hatten sie in dieser Periode etwa dreimal eine Portion Eier gelegt — aus welchen also, selbst unter späteren normalen Verhältnissen viele hitzegeprägte Tiere sich entwickeln — so ließ sie *Tower* unter normalen kühleren Bedingungen weiter leben. Die beiden letzten Portionen der Eier, welche nunmehr produziert wurden, ergaben lauter normale Käfer. Die Hitze wirkt also direkt auf die Eier in einer bestimmten Entwicklungsphase, und zwar derart, daß die genotypische Beschaffenheit geändert wird. Und diese Wirkung ist nicht von einer Änderung der elterlichen Beschaffenheit bedingt — denn wir haben ja eben gesehen, daß die später gelegten Eier nicht alteriert waren.

Die hier in Frage kommenden äußeren Faktoren können also entweder die Eier genotypisch ändern, oder es werden die Individuen selbst — ohne Einfluß auf die genotypische Beschaffenheit der später sich entwickelnden Eier — geändert. Durch diese glänzenden Arbeiten hat man eingesehen, daß die früher oft angenommene erbliche Umprägung durch Beeinflussung des Körpers und „Überführung" der Umprägung auf die Eier mit allergrößter Skepsis zu betrachten ist. Dies gilt z. B. von den gerade auch durch Hitze — oder aber durch Kälte — verursachten erblichen Farbenänderungen gewisser Schmetterlinge, über welche Resultate *Weismann* schon längst sich im Sinne der viel späteren *Tower*schen Resultate ausgesprochen hat.

Das allerinteressanteste der *Tower*schen Arbeit ist die Tatsache, daß die durch Hitze neu gewonnenen Formen, mit den ursprünglichen gekreuzt, ein einfaches *Mendel*sches Schema der F_2-Spaltung zeigen. Hier liegt also eine künstlich hervorgerufene Mutation vor, die in der Bildung einer neuen Form mit nur einem Differenzpunkt von der Urform besteht. Und es hat sich gezeigt, daß verschiedene Mutanten auf diesem Wege entstehen können. Von irgend einer besonderen „Anpassung" ist hier gar nicht die Rede, ebensowenig wie dies in den soeben erwähnten Schmetterlingsversuchen der Fall war: Durch Hitze oder durch Kälte wurden nämlich hier stets die gleichen Aberrationen hervorgebracht, die also nicht als adaptive Reaktionen anzusehen sind, sondern als spezifische Störungen im Genotypus (insofern sie auch bei den Nachkommen auftraten).

Wir brauchen gar nicht auf die hochmodernen Versuche, durch allerlei Eingriffe wie Verwundungen *(Blaringhem)*, Einspritzung in den Gynäceen *(Mac Dougal)* usw. Mutation hervorzurufen, näher einzugehen. Die Resultate sind noch nicht diskussionsreif. Die Hauptsache ist, daß alle wirklich durchgeführten Versuche, in denen genotypische Änderungen hervorgerufen sind, stets gezeigt haben, daß stoßweise genotypische Änderungen erzeugt sind, und daß Kreuzung mit den ursprünglichen reinen Rassen *Mendel*sche Spaltungen zeigen.

Durch alle die hier erwähnten Forschungen, nach dem Prinzip der reinen Linien, nach *Mendel*scher Art, und mit künstlicher Hervorrufung der Mutationen, geht wie ein roter Faden, als Grundresultat und Grundauffassung, die Einsicht, daß die persönliche Beschaffenheit eines Organismus für die Erblichkeit eigentlich ganz irrelevant ist: Die Ontogenese ist Funktion der genotypischen Beschaffenheit der Zygote, also der sich vereinigenden Gameten — aber die genotypische Beschaffenheit der Gameten ist nicht Funktion der realisierten persönlichen Beschaffenheit (des Phänotypus) des betreffenden Organismus. Dies ist das Alpha und Omega der sogenannten exakten Erblichkeitsforschung der Jetztzeit: und es dürfte richtig sein, dies immer und immer in aller Schärfe hervorzuheben.

Denn diese Auffassung ist, trotz reiner Linien, Mendelismus und Mutationen, noch lange nicht bei allen Biologen durchgedrungen. Und dieses ist nur zu begrüßen, denn im Kampfe der Meinungen mehren sich die Forschungsresultate und schärft sich die Kritik. Unter den Biologen, welche die „phänotypische Auffassung" der Erblichkeit festhalten, die Auffassung also, daß die während der Ontogenese realisierte Beschaffenheit eines Organismus Einfluß auf die Beschaffenheit der Gameten dieses Organismus haben, finden sich viele hervorragende Forscher. In den „Fortschritten der naturwissenschaftlichen Forschung" (Bd. 2) hat *R. Semon* in ausführlicher Weise die „phänotypische Auffassung" verteidigt. Hier ist demgemäß nicht näher auf diese Frage einzugehen; von einer Gegenschrift ist auch gar nicht die Rede. *Semon* ist in der Wirklichkeit ganz unbeeinflußt von dem Prinzip der reinen Linien geblieben, wie es z. B. aus seiner Herbeiholung allerlei alter Angaben in bezug auf erbliche Anpassungen u. dgl. (etwa *Schübelers* Arbeiten usw.) deutlich hervorgeht. Auch die Bedeutung der *Mendel*schen Spaltungen sowie der „Konstruktionen" der Eigenschaften, wie wir sie hier erwähnt haben, hat *Semon* in ganz anderer Weise wie wir erfaßt.

Es möge dem Leser der „Fortschritte" völlig überlassen bleiben, ob er die *Semon*schen Auseinandersetzungen gutheißen wird, oder ob er sie — mit uns — als unberechtigt oder gar ungereimt verwerfen wird. Die hier gegebene Darstellung der „genotypischen Auffassung" der Erblichkeit ist ja mit *Semons* Gedankengang, mit der Annahme einer die Erblichkeit beeinflussenden „Mneme" völlig unvereinbar. Auf *Semons* in vielen Beziehungen sehr lehrreiche Abhandlung gehen wir aber jetzt nicht mehr ein.

In älterer Zeit, vor Einführung der Reinkulturen — bei Mikroorganismen sowie bei höheren Pflanzen — wurde höchst unrein gearbeitet. Was konnte da nicht alles als Resultat von „Anpassung" erhalten werden. Mittelst vermeintlich „erblicher Anpassung" und mittelst „Selektion" konnte man aus gegebenen Beständen allerlei neue Rassen züchten. Was die Selektion betrifft, ist schon im Abschnitt I das Nötige gesagt. Und mit der erblichen Anpassung steht es genau — aber auch genau — ebenso. Vermeintliche erbliche Anpassung, wo sie überhaupt gefunden worden ist, betrifft Populationen, welche genotypische Verschiedenheiten umfassen. Die

schönen Arbeiten des früh verstorbenen dänischen Züchters *N. P. Nielsen-Tystofte* über Anpassung, z. B. des Weizens an Kälte, zeigten, daß nur von Ausmerzen der weniger resistenten Biotypen die Rede war, und daß reine Linien sich nicht erblich besser der Kälte anpassen lassen. Und was Infusorien und Mikroorganismen betrifft — die doch vermeintlich viel leichter adaptiv umgeprägt werden sollten — steht es ebenso.

Jennings Versuche mit Paramäcium, die Selektions-Unwirksamkeit ergeben (vgl. S. 85), zeigten dementsprechend auch, daß keine erbliche Anpassung im Sinne der Lamarckianer realisiert wurde. Und haben nicht *Hansens* berühmte Hefekulturen dasselbe gesagt: Hefe einer bestimmten Reinkultur, bei etwa 7° gehalten, bildet mycelienähnliche Zellreihen; bei 32° aber runde, isolierte Zellen. Ob nun auch diese Bedingungen durch ungezählte Generationen wirkten, es wurde absolut keine „erbliche Änderung“ hervorgerufen.

Und *C. O. Jensens* Arbeiten mit Colibakterien, die er in bezug auf ihre verschiedene Gärtätigkeit ausführte, zeigten mit seltener Eleganz, daß die früher von verschiedenen Verfassern angegebene sukzessive Gewöhnung an Gärtätigkeit auf der übersehenen Einmengung anderer, sehr kleiner Mikroorganismen beruhte! Und so fortan immer und immer dieselbe Sache: erbliche Selektionswirkung und erbliche Anpassung werden — analog den Spiritistenresultaten — stets in ihrer wahren Natur als Folgen „unreiner“ Arbeit erkannt!

Das ist eine peinliche „Erbschaft“ des Darwinismus und des durch den Darwinismus wieder zutage geförderten Lamarckismus, daß „Selektion und erbliche Anpassung“ als Fundamentalfaktoren für die Entstehung neuer Lebenstypen angesehen werden — ganze Generationen von Biologen sind von diesem Dogma infiziert.

Es wirkt fast wehmütig, die klareren Auffassungen hervorragender Forscher der vor-darwinischen Epoche hier zu erwähnen. So sagte *De Candolle* 1855, daß jedesmal, wenn vom Einfluß des Klimas auf die Pflanzen die Frage war, er sich genötigt sah, die Auffasuung zu bekämpfen, daß Akklimatisation möglich sei, d. h. eine Änderung der Natur der Spezies, durch welche sie mehr geeignet würden, den ungünstigen Einflüssen eines Klimas zu widerstehen. Er spricht über eine solche Akklimatisation als „reine Einbildung der Kultur“. Und wenden wir uns an *Louis Leveque de Vilmorin*, den großen bahnbrechenden Pflanzenzüchter, so treffen wir bei ihm die scharfformulierte Aussprache, daß alles, was er in seiner Wirksamkeit erfahren hat, gegen die Annahme einer erblichen Anpassung spricht.

Wie hat in der Zwischenzeit nicht der vereinigte Darwinismus und Lamarckismus den Gedankengang der Biologen beeinflußt! In sehr vielen Beziehungen zum Guten, aber wahrlich nicht in allen! Das gemeinsam Grundfehlerhafte des Darwinismus und des Lamarckismus ist ja eben die uralte, hippokratische, ganz naive Auffassung der persönlichen Beschaffenheit als die bei der Vererbung „zu überführende“ Erbschaft.

Nun aber, wird man sagen, es läßt sich doch, wie *Tower* u. A. nachgewiesen haben, die genotypische Grundlage ändern. Streiten wir uns somit nur um bloße Wörter? Mit nichten. Der Streit ist ebenso scharf wie der Streit zwischen Copernicianer und Ptolemäer: Dreht sich die Erde um die Sonne oder — wie jedermann „sehen" kann — geht die Sonne um die Erde? Und doch, hier ist als höhere Einheit die allgemeine Gravitation gefunden. Ein besseres Bild ist die Phlogistontheorie *Stahls* gegen die *Lavoisier*sche Chemie; wahrlich Wörter sind es nicht, sondern tiefgehende Konzeptionen, deren Gegensatz in Frage kommt.

Darum sind auch solche Untersuchungen, wie sie der ausgezeichnete österreichische Zoologe *P. Kammerer* neuerdings ausgeführt hat, mit der größten Freude zu begrüßen. *Kammerer* hat mit verschiedenen Tieren gearbeitet, vor allem mit Salamandern und Fröschen. Die am schönsten und am weitesten durchgeführten Experimente betreffen die Geburtshelferkröte, Alytes obstetricans. Bei dieser Kröte erfolgt, wie *Kammerer* näher beleuchtet, Umklammerung der Geschlechter und Ablage der Eier auf dem Lande; es wird dabei eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Eiern hervorgebracht, die aber infolge ihres Dotterreichtums groß und hellfarbig erscheinen. Die Gallerthülle, welche diese Eier zu einer Schnur verbindet, kann in der Luft nicht quellen, sondern trocknet ein und schmiegt sich dicht der Oberfläche des Eies an. Das väterliche Tier leistet seinem Weibchen Geburtshilfe, indem es ihm die Laichschnur aus der Kloake zieht; an der Laichschnur selbst leistet es Brutpflege, indem es sie um seine Hinterschenkel wickelt und hier so lange herumträgt (Fig. 76), bis die Eier ausschlüpfreif sind. Zu diesem Zeitpunkt begibt sich der Vater mit seiner Bürde ins Wasser, wo die Larven ihre Hülle sprengen. Die auskriechenden Larven besitzen schon innere Kiemen, haben also hier eine relativ weite Entwicklung innerhalb der Eihülle durchgemacht. Der übrige Entwicklungsgang vollzieht sich dann wieder in Übereinstimmung mit dem der anderen Frösche und Kröten: zweibeinige Larve, vierbeinige Larve, Schrumpfen des Schwanzes und Übersiedlung ans feste Land.

Kammerer gibt an, daß er den Entwicklungsgang der Geburtshelferkröte in dreierlei Richtung hat ändern können. Für uns hat eigentlich nur die eine dieser Versuchsserien wirkliches Interesse: hier dreht es sich um erbliche Änderung des charakteristischen Instinktes. Hält man, sagt *Kammerer,* die zeugungsfähigen Geburtshelferkröten in einer hohen Temperatur von 25—30° C, so geben sie die geschilderte Brutpflege vollständig auf und kehren zu den primitiven Zeugungsgewohnheiten der übrigen Froschlurche zurück. Die ihnen ungewohnte Hitze veranlaßt nämlich die Tiere, in dem ihnen stets zur Verfügung stehenden Wasserbecken Kühlung zu suchen; hier finden sich jetzt die Geschlechter und eben hier finden auch Begattungen und Eiablagen statt. In dem Augenblick aber, wenn die Gallerthülle jetzt mit Wasser in Berührung tritt, quillt sie auf, verliert dadurch ihre Klebrigkeit und selbstredend ihre Eigenschaft, sich später beim Eintrocknen — welches eben gar nicht stattfindet — um die Schen-

kel des Männchens fest zusammenzuziehen; es ist also dem Männchen unmöglich, die Laichschnur auf seinen Hintergliedmaßen zu befestigen. Die Laichschnur bleibt deshalb im Wasser liegen, wo sich trotz der fremden Umgebung etliche Eier zu entwickeln vermögen. In dem Maße, als das Aufsuchen des Wassers und die dortige Erledigung des Fortpflanzungsgeschäftes ohne Brutpflege zur Gewohnheit wird, so daß sich die Tiere schließlich auch ohne den Zwang der übermäßig hohen Temperatur ebenso benehmen, in dem Maße treten an den Eiern und Larven gewisse Veränderungen auf, welche weiteren Rückannäherungen zur ursprünglichen Zeugungsart der Kröten entsprechen. Die Zahl der Eier und ihre Fähigkeit, sich unter Wasser zu entwickeln, hat ansehnlich zugenommen; dafür sind die Wassereier dotterärmer als Landeier, daher kleiner und anders — dunkler — gefärbt. Nur dank der gequollenen Gallertschicht erscheinen sie ebenso groß wie früher. Aus ihnen schlüpfen die Larven in zeitigerem Stadium aus, nämlich wenn sie noch die äußeren Kiemen haben.

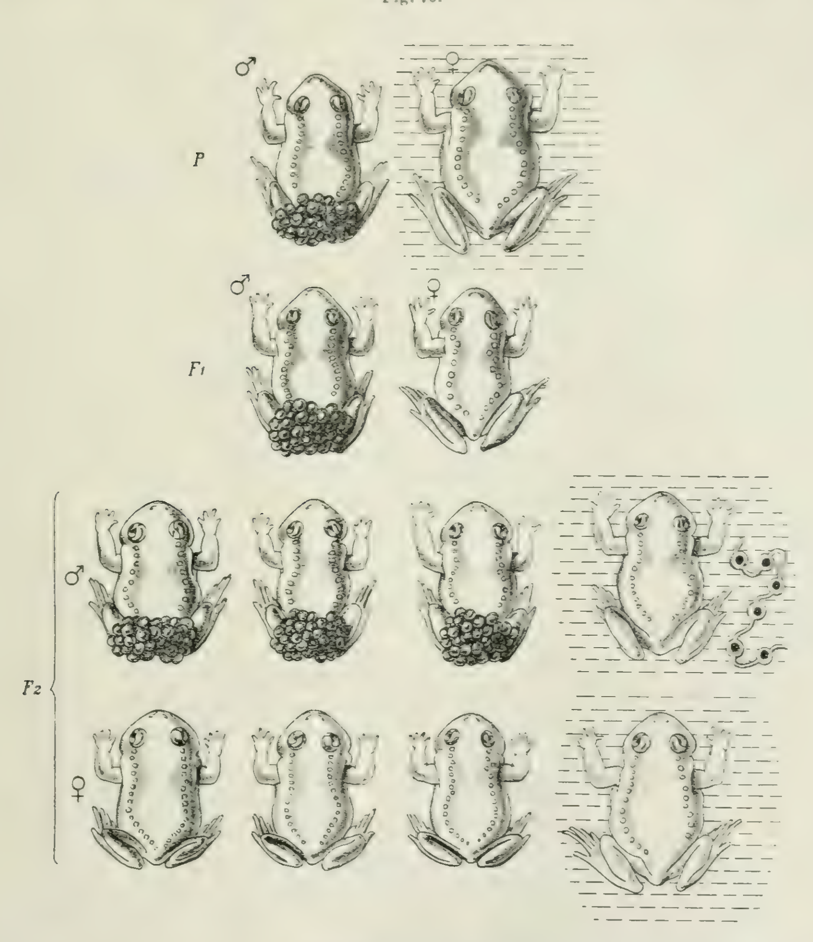
Diese Anpassungsgeschichte der Individuen ist mit *Kammerers* eigenen Worten gegeben, und soll hier gar nicht kommentiert werden; der Leser mag sich selbst ein Urteil über diese immerhin sehr interessante Vorarbeit bilden. Das für uns Wesentliche sind aber die hier gefundenen Erblichkeitsverhältnisse.

Es zeigte sich zunächst, daß die Nachkommen der in bezug auf den erwähnten Instinkt veränderten Kröten alle auch „verändert" waren, d. h. sie legten ihre Eier in Wasser und leisteten auch keine Geburtshilfe. *Kammerer* führte nun Kreuzungen zwischen „veränderten" und nicht veränderten, also „normalen" Kröten aus, und zwar in den hier möglichen beiden Weisen: „verändertes" Männchen mit „normalem" Weibchen, sowie „normales" Männchen mit „verändertem" Weibchen (Fig. 76). Als diese letztere Kreuzung ausgeführt wurde und die Nachkommen (F_1 der Fig. 76) sich alle als „normal" zeigten, dachte *Kammerer* nichts anderes, „als daß die Instinktveränderung infolge Hinzuziehung des normalen Männchens in der Elterngeneration endgültig erloschen sei. Allein sie kam in der Enkelgeneration (F_2) fast genau bei einem Viertel der Nachkommen wieder zum Vorschein; die übrigen drei Viertel dieser Nachkommengeneration sind normal. Die umgekehrte Kreuzung, normales Weibchen mit abgeändertem Männchen, hatte folgendes Ergebnis: die erste Nachkommengeneration hält sich abermals ausnahmslos an das Muster des Vaters, trägt somit in sämtlichen Individuen die vom Experiment hervorgerufene Fortpflanzungsveränderung zur Schau, die Weibchen wasserlegend, die Männchen nicht brutpflegend. Die zweite Nachkommengeneration ist zu einem Viertel normal, zu restlichen drei Viertel verändert".

Und *Kammerer* sagt ferner, daß es ohne weiteres klar ist, daß diese Kreuzungen sich den *Mendel*schen Regeln einreihen, aber das dominante Merkmal bindet sich hier an den Vater, und je nachdem, ob wir ein Männchen mit dieser oder jener Eigenschaft zur Zucht verwenden, tritt ein Wechsel in der Dominanz ein. Daß dieser Wechsel mit der Ver-

teilung der in Betracht kommenden Instinkte auf die beiden Geschlechter etwas zu tun hat, hebt *Kammerer* selbst hervor. Wir berühren dabei die verwickelte Frage der Geschlechtsbestimmung, bei welcher auch sehr wechselnde Dominanzerscheinungen als Folgephänomene bekannt sind.

Fig. 76.



Schema der Kreuzung eines „normalen" brutpflegenden Alytes-Männchens mit einem „veränderten" (in Wasser eierlegenden) Weibchen. (Nach *Kammerer*.) ♂ Männchen, ♀ Weibchen. Schraffierung gibt Wasser an und bezeichnet die betreffenden Tiere als „verändert". Für das „veränderte" Männchen in der F_2-Generation ist als weitere Signatur die unbeachtet neben ihm liegende Laichschnur angedeutet. Es zeigt sich hier Dominanz der Eigenschaft „normal" und demgemäß Spaltung in F_2 im Verhältnis 3 : 1.

Darauf brauchen wir aber gar nicht einzugehen; sagt ja *Kammerer* selbst: „Doch ist dieses zunächst nebensächlich im Vergleich zu dem wichtigen Ergebnis, daß erworbene Eigenschaften sich nicht nur überhaupt vererben, sondern sich in der Mischung mit unverändert gebliebenen Merkmalen auch der *Mendel*schen Regel fügen; die erworbene Eigenschaft hat hier-

durch Gelegenheit, aus der Mengung mit anderen Eigenschaften zu einem gewissen Prozentsatz rein hervorzugehen und daher trotz jener Vermengung erhalten zu bleiben."

Das ganze Resultat dieser Untersuchung hat — was die Erblichkeit betrifft — eine gewisse Ähnlichkeit mit den *Tower*schen Resultaten: durch Hitze und geänderte Feuchtigkeitsverhältnisse wurde eine genotypische Änderung hervorgerufen, die bei Kreuzung — wie stets bei solchen Mutationen — dem *Mendel*schen Schema folgt. Soweit die *Kammerer*sche Schilderung den Anpassungsvorgang der Versuchsindividuen an die geänderte Lebenslage beleuchtet, scheint es, daß diese Individuen in bezug auf Eierablegung und Größe (Ernährung) der Eier sukzessive geändert werden. Möglicherweise wurden also bei gewissen Individuen Übergangszustände — wohl nur phänotypisch — realisiert.

Bei der Kreuzung der „veränderten" Tiere aber ist von gar keinem Übergang die Rede, was doch wohl nach *Kammerers* Voraussetzungen eigentlich zu erwarten wäre. Nun, der ganzen Geschichte der „Veränderung" der Hitzeindividuen wollen wir nicht folgen; wir gehen gerne von der Voraussetzung aus, daß hier anfangs genotypisch einheitliches Material vorhanden war. Nur läßt es sich hier aber gar nicht sagen, ob nicht die Eier direkt von den geänderten Lebenslagefaktoren — ganz wie bei *Tower* — beeinflußt sind. Der Beweis, daß die primär „veränderten" Tiere ihre persönliche Instinktveränderung (falls sie, streng genommen, eine solche aufweisen und nicht nur zwangsweise handelten) auf ihre Gameten überführt haben, ist aber gar nicht erbracht. Und das *Mendel*sche Verhalten ist ja doch ein strikter Gegenbeweis, was die späteren Generationen betrifft!

Denken wir uns heterozygotisch brutpflegende Kröten, wie sie in Fig. 76 in 50% der F_2-Generation auftreten, und folgen wir fortan nur den heterozygotischen Nachkommen weiter. Dann bildet sich Generation nach Generation in ihnen, stets nur 50% Gameten mit dem Gene, welcher bei dem Brutpflegeinstinkt (bzw. deren Fehlen) im Spiele ist — aber 50% der Gameten sind immer und immer wieder frei von diesem Gene! Nun kann doch offenbar eine persönliche Eigenschaft, die sogar im Zentralnervensystem irgendwie repräsentiert sein muß, und deshalb tief in dem „Wesen des Individuums" wurzelt, unter solchen Verhältnissen gar keinen „überführenden" Einfluß gehabt haben! In die Heterozygote wurde eben das gebracht, was später auf die Hälfte der Gameten verteilt wird; mit dem gegebenen Pfunde wurde nur in gewöhnlicher autokatalytischer Weise (wie mit allen Lebenselementen, die sich vermehren) gewuchert —, aber wo in aller Welt bleibt hier die Spur einer Überführung der persönlich realisierten Beschaffenheit des Individuums? Die „freie" Hälfte der Gameten sind Zeugen der gänzlichen Unfähigkeit der Heterozygote, mehr zu geben, als sie in Gametenmitgabe selbst erhalten hat. Das ist die wahre Bedeutung des *Mendel*schen Verhaltens hier.

Die sogenannte „Mneme“lehre *Semons*, sowie die Auffassung verschiedener anderer über Erblichkeit sich äußernder Schriftsteller, daß besonders die psychischen Zustände eines organischen Wesens die Nachkommenbeschaffenheit erblich mitbedingen, und daß überhaupt die Erblichkeit gewissermaßen als eine Art körperlichen Gedächtnisses aufgefaßt werden müsse — alles derartiges wird wohl durch *Kammerers* hier zitiertes Experiment sozusagen im Nu hinfällig. Für die Forscher, die überhaupt mit den Erfahrungen über reine Linien und sonst mit Mendelismus vertraut sind, bietet *Kammerers* Arbeit aber eine interessante Bestätigung der „genotypischen“ Konzeption der Erblichkeit.

Oder wollen die Psychovitalisten etwa behaupten, daß eine arme, nur heterozygotisch brutpflegende Kröte (oder, aus anderer Kreuzung, etwa eine heterozygotisch wasserlegende Kröte) nur mit der halben Seele dem Instinkte folgt, während die harmonisch veranlagten Homozygoten nicht nur mit Leib, sondern auch mit ganzer Seele wirken? Und haben die Heterozygoten unter oder hinter der realisierten instinktiven Aktivität etwa ein ebenso mächtiges, passiv psychisches Prinzip, das genau so viele Gameten für sich gewinnen kann, wie das realisierte Instinkt! Ja, wer weiß, was ausgeklügelt werden kann. Wer im Banne der Überführungslehre steht, ist vor solchen Spekulationen nicht zu retten!

Also, die Erblichkeit ist offenbar nicht eine Überführung persönlicher, psychischer oder körperlicher Eigenschaften; die persönlichen Eigenschaften sind Funktionen der genotypischen Beschaffenheit der Zygote, wie die Reaktionen chemischer Körper Funktionen des atomistischen bzw. energetischen Baues derselben sind. —

Auf die Hypothesen über Natur der Gene bzw. Genenkomplexe u. dgl. kann hier nicht eingegangen werden; nur sei betont, daß der Verfasser dieser Arbeit wenig geneigt ist, an besondere Lokalisation der Gene in den Zellen zu denken. Die genotypische Beschaffenheit durchdringt wohl den ganzen Organismus. Weiter aber auf Hypothesen einzugehen, liegt nicht im Plan dieser Abhandlung, und manche hierher gehörende Frage wurde dementsprechend gar nicht berührt.

Eine sehr wichtige Sache muß aber hier erwähnt werden. Es wurde gesagt, daß die verschiedenen Genotypen diskontinuierlich verschieden sind, etwa wie chemische Körper es sind. Und eine Mutation wird demnach in einer „stoßweisen“ Genotypenänderung bestehen. Die *Tower*schen Resultate sowie die hier erwähnten *Kammerer*schen Resultate geben wohl — neben anderen — Beispiele solcher durch äußere Beeinflussungen hervorgerufenen Mutationen. Bei den in der Natur gefundenen Mutationen kennt man die Ursache der Veränderung nicht — in allen Fällen kann man sagen, daß die Genotypenänderung stoßweise, diskontinuiert vorgeht.

Die Genotypen oder, was dasselbe bedeutet, die Reaktionsnormen der Organismen sind demnach fest, wie etwa die Reaktionsnormen chemischer Gebilde. Und wie ein chemisches Gebilde — etwa ein komplexes Radikal — seine feste Reaktionsnorm hat, bis

durch besondere Eingriffe seine eigene Konstitution diskontinuirlich alteriert wird, so auch die Organismen.

Diese Festheit der genotypischen Konstitutionen und die damit zusammenhängende Diskontinuität zwischen den verschiedenen voneinander sich ableitenden Genotypen. bilden wesentliche Konzeptionen der Erblichkeitsforschung, wie sie durch Mendelismus und das Prinzip der reinen Linien vertreten ist. Diese Konzeptionen aber, besonders die Auffassung der Diskontinuität sind — ganz abgesehen vom Lamarckismus — von verschiedenen Biologen sehr eifrig bekämpft worden. Unter diesen Angreifern ist wohl *Woltereck* der hervorragendste Forscher, den wir hier als Repräsentanten seiner Richtung betrachten werden.

In einer sehr interessanten Arbeit über Experimente mit Daphniden findet *Woltereck* zunächst keine Wirkung von Selektion in reinen Linien (Reinkulturen von einem Individuum stammend — hier ist von ungeschlechtlicher Vermehrung die Rede, wie in *Jennings* S. 85 erwähnten Arbeiten): ferner beschreibt er selbst eine diskontinuierliche Änderung einer Rasse, also eine Mutation in dem hier erwähnten Sinne. Und seine Versuche, die Organismen allmählich adaptiv umzuprägen — *Lamarcks* Anschauungen entsprechend — gaben ihm bis jetzt kein sicheres Resultat. Alles, was *Woltereck* als Resultate seiner Versuche mitteilt, stimmt vorzüglich mit unserer Auffassung überein.

Wie hängt aber das Gesehene von den Augen ab! *Woltereck* bekennt ganz offen seinen Glauben an kontinuierliche Entwicklung und erklärt die ganze Motivierung der neuen genotypischen Auffassung als „harte Schläge" für einen überzeugten Selektionisten. Seine Abhandlung soll derartige Schläge parieren. Nun können seine vorher erwähnten Resultate nicht für die Parade benutzt werden: sie stimmen ganz auffallend gut mit der zu bekämpfenden Auffassung. Seine Argumente müssen von anderen Beobachtungen genommen werden: und einige sehr instruktive Resultate aus Kulturen bei variierenden Lebensbedingungen haben ihm sein schweres Geschütz geliefert.

In einer sehr anschaulichen Weise präsentiert uns *Woltereck* „Phänotypenkurven" verschiedener reiner Linien (Rassen). Diese Kurven sind graphische Schemen, welche für die betreffende Rasse den mittleren Grad oder Intensität irgend eines Charakters unter verschiedenen Bedingungen ausdrücken. Als Beispiel sei erwähnt die Kopflänge der Daphnien bei armer, mittelguter und reichlicher Ernährung. Derartige Phänotypenkurven der verschiedenen Charaktere einer Rasse sind offenbar von großem Wert für das Verständnis der Lebenserscheinungen der betreffenden Rasse: Figurenreihen wie unsere Fig. 50 (S. 73) sind leicht in solche Phänotypenkurven (hier Jahreskurve) umzuschreiben. Solche Serienbeobachtungen markieren unzweifelhaft einen bedeutenden Fortschritt der deskriptiven Methoden.

Die *Woltereck*schen Daphniaphänotypenkurven zeigen nun mitunter ziemlich konstante Differenzen zwischen den zu vergleichenden reinen

Rassen. Meistens aber ist dieses nicht der Fall. Speziell bei extremen Bedingungen, z. B. bei armer oder gerade bei sehr reichlicher Fütterung laufen einige der Kurven zusammen, d. h. die verschiedenen Rassen zeigen dann keinen Unterschied. Derartige interessante Angaben entsprechen völlig den durch unsere Fig. 51 illustrierten Verhältnissen der Daphnienformen verschiedener dänischer Seen: im Sommer großer Unterschied, im Winter kein Unterschied — zu sehen!

Nun behauptet *Woltereck*, daß diese Erfahrungen unvereinbar mit der Existenz konstanter Differenzen zwischen den Genotypen sind. In dieser Behauptung aber hat der ausgezeichnete Forscher nicht Recht. Denn die phänotypischen Erscheinungen bezüglich der verschiedenen Charaktere — also die Reaktionen der genotypischen Konstitutionen — können unter verschiedenen äußeren Bedingungen alle möglichen Übergänge und Abstufungen zeigen, wie wir es so gut bei Fluktuationen kennen (vgl. die Fig. 56 und 57). Und dieser Umstand hat ja absolut nichts mit Konstanz oder Inkonstanz der genotypischen Differenzen zu tun.

Vielleicht ist es nützlich oder gar nötig, durch Beispiele die Sache einzuschärfen. Also: die Temperatur hat großen Einfluß auf die Intensität vieler Blütenfarben: z. B. können bei Fliederblüten alle Schattierungen von gesättigtem Rotblau bis zum weißesten Weiß durch Treiben der „gefärbten" Varietäten in verschiedener Temperatur entstehen. Die rein weiß blühenden Individuen sind — was die Farbe betrifft — phänotypisch nicht von den genotypisch „rein weißen" zu unterscheiden. Niemand würde aber hier an genotypische Übergänge glauben.

Reine Linien von Bohnen mögen in einem Jahre recht verschieden in der Größe sein, *A* etwa *B* übertreffend. Im nächsten Jahre mag *B* die größere sein oder beide mögen ungefähr gleich groß ausfallen (solches Verhalten trägt selbstverständlich auch zu der S. 120 erwähnten „Kontinuität in Museen" bei, die so viel Verwirrung gemacht hat).

Bodenunterschiede bedingen ähnliche Verschiebungen der Unterschiede bei Pflanzenrassen, und es ist eine bekannte Sache, daß z. B. gewisse reine Linien von Weizen viel mehr als andere auf reichem Boden produzieren, während das Umgekehrte für mageren Boden zutrifft usw.

In vier nacheinander folgenden Jahren zeigten zwei reine Linien von Gerste, beide durch eine große Neigung zur Schartenbildung (Abortierung der Früchte) charakterisiert, die folgenden Phänotypen, als Schartigkeitsprozent angegeben:

Reine Linie L: . . .	30	33	27	29
Reine Linie G: . . .	5	45	3	28

Die Genotypenunterschiede sind aber nichtsdestoweniger in allen derartigen Fällen ganz konstant (bis eben Mutationen bzw. Neukombinationen bei Kreuzung und Spaltung eintreten).

Die Reaktionsnormen der *Woltereck*schen Organismen sowie der anderen hier erwähnten Organismen sind eo ipso konstant verschieden, gerade-

so wie die Reaktionsnormen verschiedener chemischer Verbindungen. Die Analogie mit chemischen Gebilden — deren strukturelle oder konstitutionelle Differenzen als diskontinuierlich gegeben sind —, betreffend mag es vielleicht nicht überflüssig sein, zu erwähnen, daß man oft „Reaktionskurven" haben kann, die *Woltereck*s „Phänotypenkurven" ähnlich sehen. Es genügt als Beispiel die Temperaturkurven für die Löslichkeit verschiedener Natron- und anderer Salze hier anzuführen. Diese Kurven interferieren in verschiedener Weise, schneiden sich oder fließen teilweise zusammen usw., ganz wie die *Woltereck*schen Phänotypenkurven.

Das Wesentliche der ganzen Sache ist selbstverständlich, daß eine spezielle genotypische Konstitution immer in gleicher Weise unter identischen Bedingungen reagiert — wie alle chemischen oder physikalischen Gebilde es tun müssen. Unterschiede in genotypischer Konstitution (sowie Unterschiede in chemischer oder physikalischer Natur überhaupt) sind nicht gezwungen, sich stets — und noch weniger sich stets in gleicher Weise — zu manifestieren. Mitunter mögen sogar spezielle Bedingungen erforderlich sein für die Verwirklichung von Reaktionsmöglichkeiten („Potenzen", wie einige Autoren sagen), die einer besonderen genotypischen (oder chemisch-physikalischen) Konstitution eigentümlich sind. Dies ist eine altbekannte Tatsache für Physiologie und Züchtung, besonders wohl für die feinere Gartenkunst. Und namentlich *Baur* hat schon längst auf die Bedeutung dieses Umstandes für die *Mendel*sche Forschungsart hingewiesen.

Wolterecks Kritik betreffend die genotypische Diskontinuität ist somit auf einem Nichtvertrautsein mit dem neuen Begriffe Genotypus basiert. Immer und immer aber treffen wir in der biologischen Literatur die Verwechslung von Phänotypus mit Genotypus — eben weil wir mitten in einer gärenden Übergangszeit in der biologischen Forschung stehen.

* * *

Noch viele andere Erblichkeitsfragen spezieller Art hätten passend hier behandelt werden können. Das Mitgeteilte mag aber genügen, um ein Bild der Arbeitsweise und der allgemeinen Resultate der heutigen Erblichkeitsforschung zu geben. Demgemäß haben wir nicht die Frage der vegetativen Bastardierung berührt; es sei hier nur gesagt, daß die vermeintlichen Pfropfhybride sich als eigenartige „Zusammenwuchs"-Phänomene ohne gegenseitige Beeinflussung der genotypischen Grundlagen gezeigt haben. Nachdem *Winkler* zunächst neben derartigen Bildungen, „Chimären" wie er sie nennt, auch wirkliche Pfropfhybride von Solanum nigrum und Lycopersicum (Tomate) gebildet zu haben glaubte, hat *Baur* durch eine Reihe weitergehender Arbeiten es höchstwahrscheinlich gemacht, daß sogar diese sehr interessanten Bildungen *Winklers* doch nur „Chimären" sind. Und vor allem hat hier die jetzt kaum mehr zu bestreitende Angabe Interesse, daß Cytisus Adami, der Pfropfbastard par excellence, selbst auch nur eine „Chimäre" ist, ein Doppelwesen, bestehend

aus Haut von Cytisus purpureus, Innengewebe von Cytisus Laburnum umschließend!

Auch die Transplantationen von Ovarien bei Wirbeltieren, die unter anderem mit dem Zweck ausgeführt worden sind, die erbliche Beeinflussung der sich entwickelnden Eier seitens der „Pflegemutter" zu untersuchen, haben nach *Castles* neuen eingehenden Studien in dieser Beziehung rein negative Resultate ergeben. Auf diesem Wege konnte also keine Stütze für die „Überführungsidee" gewonnen werden. Dieses war aber auch vorauszusehen, nachdem die „Überführungs"-Lehre überhaupt hinfällig geworden ist.

Die alte Konzeption der „Vererbung" ist also durch die Arbeiten des letzten Dezenniums sozusagen auf den Kopf gestellt. Man „überführt" nicht „erbliche Eigenschaften" auf die Nachkommen. Diese aber stimmen mehr oder weniger mit den Eltern überein, weil die genotypische Grundlage beider Generationen mehr oder weniger gut übereinstimmt, je nach dem Grade der in Frage kommenden Heterozygotität. Diese Grundlage, der Genotypus, ist aber vom Verlauf der persönlichen Entwicklung — von der Ontogenese — ganz unabhängig.

Wie aber die Ontogenese als Reaktion der die Zygote charakterisierenden genotypischen Beschaffenheit im speziellen verstanden werden soll, ist eben ein großes Problem — das Überführungsproblem gewissermaßen ablösend oder ersetzend.

Auch das Zweckmäßigkeitsproblem, bezüglich dessen wir mit *Went* harmonieren, wird sich jetzt in neuem Lichte präsentieren. Hier sei nur in dieser Verbindung wiederholt, daß ein gegebener Zustand an und für sich nichts in bezug auf seine Geschichte aussagt; aus evidenter oder vermeintlicher Zweckmäßigkeit läßt sich nichts über ihren Werdegang aussagen!

Die moderne Erblichkeitsforschung aber strebt rüstig vorwärts nach dem *Galilei*schen Prinzip: Messe alles, was meßbar ist, und mache das nicht Meßbare meßbar. Messen allein tut es aber nicht, wie Statistik allein die biologische Analyse mittelst Reinkultur und Kreuzung nicht ersetzen konnte.

Nachschrift.

Durch mein Mißverständnis der betreffenden Angaben ist bei den Levkojenbeispielen (Fig. 63—75) der Faktor *C* als Cremefarbe bedingend dargestellt. Cremefarbe ist aber eine Sache für sich, unabhängig von dem Chromogen bedingenden Faktor *C*. Da wir also von der Cremefarbe absehen, sind in den Figuren die grau-punktierten Blüten (*C* bzw. *C* und *H* führend) als weiß zu betrachten; die Punktierung markiert also nur die Anwesenheit von *C* allein bzw. *C* mit *H*.

In der prinzipiellen Diskussion der Kreuzungsanalysen ändert der begangene Fehler selbstverständlich gar nichts. Cremefarbe ist übrigens recessiv gegenüber weiß, ein weiteres Beispiel der Recessivität eines „po-

sitiv" erscheinenden Charakters. Und Cremefarbe kann (entgegen der Angabe S. 103) mit Saftfarbe kombiniert werden; Rot + Creme gibt gelbrote Blütenfarbe.

Einige Literaturangaben.

(Auswahl der wichtigeren oder speziell benutzten Arbeiten.)

Bateson W., Materials for the Study of Variation, 1894. *Mendels* Principles of Heredity, 2d Edit. 1909. (Hauptwerk mit sehr ausführlichen Literaturangaben.) Ferner: Reports to the Evolution Committee of the Royal Society. (Hierin Arbeiten von *Bateson, Saunders, Punnet, Hurst, Doncaster, Wheldale, Durham* u. a.) I—V. 1902 bis 1909. Seit 1910 geben *Bateson* und *Punnet* die „Journal of Genetis" aus; in dieser Zeitschrift werden fortan die Arbeiten *Batesons* und seiner Schule Aufnahme finden.

Baur, Einige Ergebnisse der experimentellen Vererbungslehre (Beihefte zur Med. Klinik, 4. Jahrg., 1908). Vererbungs- und Bastardierungsversuche mit Antirrhinum (Zeitschr. f. induktive Abstammungs- und Vererbungslehre, 1910, Bd. 3). Das Wesen und die Erblichkeitsverhältnisse der „Varietates albomarginatae" etc. (daselbst, 1909, Bd. 1). Ferner: Pfropfbastarde (Biol. Zentralbl., 1910, Bd. 30). In diesen Arbeiten weitere Literatur. *Baur* redigiert die seit 1908 erscheinende Zeitsch. f. induktive Abstammungs- und Vererbungslehre, die ein Hauptorgan der Erblichkeitsforschung geworden ist. — Während der Korrektur erschien *Baurs* vorzüglich klare „Einführung in die experimentelle Vererbungslehre" (Berlin 1911).

Blaringhem, Mutation et Traumatismes. Paris 1907.

Candolle A. de, Géographie botanique raisonnée 1855, vgl. die Seiten 1087—1088.

Castle W. E., Studies of Inheritance in Rabbits (*Carnegie* Institution of Washington, Publication Nr. 114, 1909). Ferner: On Germinal Transplantation in Vertebrates (daselbst, Nr. 144, 1911). In diesen beiden Abhandlungen weitere Literatur.

Correns C., Bastarde zwischen Maisrassen (Bibl. Botanica. H. 53. 1901). Zahlreiche Arbeiten in Berichten der deutschen botanischen Gesellschaft, so z. B.: Scheinbare Ausnahmen von der *Mendel*schen Spaltungsregel (daselbst Bd. 20, 1902). Die Rolle der männlichen Keimzellen bei der Geschlechtsbestimmung usw. (daselbst, Bd. 26a, 1908). Die Bestimmung und Vererbung des Geschlechts etc., Berlin 1907; ferner: Zur Kenntnis der Rolle von Kern und Plasma bei der Vererbung (Zeitschr. f. induktive Abstammungslehre. 1909, Bd. 2).

Cuénot in Archives de Zoologie expérimentelle, T. 1 und 2, 1903—1904.

Darbishire A. D., Experimental Estimation of the Theory of Ancestral Contributions in Heredity (Proceedings Royal Society B., 81, 1909).

Darwin Ch., Seine Erblichkeitshypothese in „Animals and Plants under Domestication", Kap. 27 dargestellt.

Davenport G. C. and *C. B.*, Heredity of Hair Colour in Man (American Naturalist, Bd. 43, 1909). Heredity of Skin Pigment in Man (daselbst, Bd. 44, 1910). Hier auch weitere Literatur.

Doncaster in Reports to the Evolution Committee (siehe sub *Bateson*).

East, A Mendelian Interpretation of Variation that is apparently Continuous (American Naturalist, Bd. 44, 1910).

Ehle, Nilsson-, Kreuzungsuntersuchungen an Hafer und Weizen. Dissertation, Lund 1909.

Fruwirth in Archiv f. Rassen- und Gesellschaftsbiologie. 1907.

Galton Fr., Theorie de l'hérédité (Revue Scientifique, 2. Serie, Bd. 10, 1876. Das englische Original soll in 1875 erschienen sein). Natural Inheritance, 1889. Vgl. auch *Pearson*.

Hanel E. in Jenaischer Zeitschr. f. Naturwissensch., Bd. 43, 1907.

Hansen E. Chr., im Meddeleser fra Carlsberg Laboratoriet, Bd. 4—6, Kopenhague 1890 bis 1900.

Hippokrates, De aëre, aquis, locis. Kap. 21 (zitiert nach *R. Fuchs'* Übersetzung von *Hippokrates* sämtlichen Werken. München 1895).

Hurst, Mendels Law of Heredity in its application to Man (Leicester Lit. Phil. Soc. Transact., Bd. 12, 1908).

Jennings H. S., Heredity, Variation and Evolution in Protozoa II (Proceed. Americ. Phil. Soc., Bd. 47, Nr. 190, 1908. Ferner: Experimental Evidence on the Effectiveness of Selection (American Naturalist, Bd. 44, 1910).

Jensen C. O. in Oversigt over det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger, 1910.

Johannsen W., Über Erblichkeit in Populationen und reinen Linien. Jena 1903. Elemente der exakten Erblichkeitslehre. Jena 1909. Hier sehr viele Literaturangaben. Ferner: The Genotype Conception of Heredity (American Naturalist, Bd. 45, 1911).

Kammerer P., Beweise für die Vererbung erworbener Eigenschaften durch planmäßige Züchtung (12. Flugschrift der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde. Berlin 1910). Hier sehr umfassende Literatur, auch Angaben der ausführlicheren Arbeiten des Autors.

Lang A., Über die Bastarde von Helix hortensis und H. nemoralis. Jena 1908. Ferner auch die wichtige Zusammenfassung: Über Vererbungsversuche (Verhandl. der Deutschen Zool. Ges., 1909); über *Castle* in Zeitschr. f. induktive Abstammungslehre, Bd. 4, 1910.

Mac Dougal, The Induction of new Species. Science N. S., Bd. 23, 1906. Heredity and environic forces. Adress. Chicago Meeting, New York 1907.

Meijere de, Über *Jacobsons* Züchtungsversuche bezüglich Polymorphismus und Vererbung sekundärer Geschlechtsmerkmale (Zeitschr. f. induktive Abstammungslehre, Bd. 3, 1910).

Meisenheimer, Über den Zusammenhang von Geschlechtsdrüsen und sekundären Geschlechtsmerkmalen (Verhandl. d. Deutschen Zool. Gesellschaft, 1908).

Mendels Arbeiten am leichtesten in *Ostwalds* Klassiker d. exakt. Wiss. (Nr. 121, herausg. von *Tschermak*) zugänglich; siehe auch *Bateson.*

Morgan T. H., A Biological and Cytological Study of Sex determination in Phylloxerans ect. (Journal of Experimental Zoology, Bd. 7, 1909). Sex limited Inheritance in Drosophila (Science, N. S., Bd. 32, 1910).

Nielsen N. P., Dyrkningsforsög med Vinterhvede (Tidsskrift f. Landbrugets Planteavl, Bd. 14, Kopenhagen 1910).

Ostenfeld C. H., Further Studies on the Apogamy etc. (Zeitschr. f. induktive Abstammungslehre, Bd. 3, 1910).

Pearl and *Surface,* Is there a Cumulative Effect of Selection? (Zeitschr. f. induktive Abstammungslehre, Bd. 2, 1909).

Pearson Karl, Grammar of Science, 2 Edit., London 1900. Zahlreiche Abhandlungen in seiner Zeitschrift „Biometrika" (seit 1902). Über die Eugenicbewegung vgl. *Galton,* Essays in Eugenics, London 1909, und die Eugenics Laboratory Publications (London, Dulau & Co.).

Punnet R. C., „Mimicry" in Ceylon Butterflies etc. (Spolia Zeylanica, Bd. 7, part. 25, 1910). Vgl. auch *Bateson.*

Rosenberg O., Cytological Studies on the Apogamy etc. (Botan. Tidsskrift. Kopenhagen, Bd. 28, 1907).

Saunders in Reports to the Evolution Committee, siehe sub *Bateson.*

Semon, Die Mneme als erhaltendes Prinzip. 2. Aufl., Leipzig 1908. Der Stand der Frage nach der Vererbung erworbener Eigenschaften (Fortschritte d. naturwiss. Forschung, Bd. 2, 1911.)

Shull G. H., A new Mendelian ratio ect. (The American Naturalist, Bd. 42, 1908 und andere Arbeiten in dieser Zeitschrift).

Standfuss M., Die alternative oder diskontinuierliche Vererbung etc. (Deutsche Entomolog. Nationalbibliothek I, 1910). Chaerocampa (Pergesa) elpenor L. etc. und Mitteilungen über . . . Mutationen (Iris, Bd. 24, Dresden 1910).

Tower W. L., An Investigation of Evolution in Chrysomelid Beetles (Papers of the Station for Experimental Evolution . . . New York, Nr. 4, Washington 1906).

Tschermak E. v., Über künstliche Kreuzung von Pisum sat. (Zeitschr. f. d. landw. Vers.-Wesen in Österreich, Bd. 3, 1900). Kreuzungsstudien von Erbsen, Levkojen und Bohnen (daselbst, Bd. 4, 1904). Die Theorie der Kryptomerie etc. (Beihefte z. Botan. Zentralbl., Bd. 16, 1903).

Vilmorin, Notices sur l'amélioration des plantes par le semis (Nouvelle Edition, Paris 1886).

Vries Hugo de, Die Mutationstheorie. Leipzig 1901—1903. Hier sehr zahlreiche, namentlich auch ältere Literaturangaben.

Weismann A., Aufsätze über Vererbung. Jena 1892. Vorträge über Deszendenztheorie. 2. Aufl., Jena 1904.

Went F., Über Zwecklosigkeit in der lebenden Natur (Biolog. Zentralbl., Bd. 27, 1907). Siehe auch: Untersuchungen über Podostemaceen (Verhandl. Koninkl. Akademie van Wetenschappen te Amsterdam, 2de Sectio, Deel 16, 1910).

Wesenberg-Lund, Summary of our Knowledge regarding various Limnological Problems (Report on the Scientific Results of the Bathymetrical Survey of the Scottish Fresh-Water Lochs, 1910).

Winkler H. in Berichte d. Deutschen botan. Ges., Bd. 25, 1907; Bd. 26, 1908; ferner: Über die Nachkommenschaft der Solanum-Pfropfbastarde (Zeitschr. f. Botanik, 2. Jahrg., 1909).

Wolff F., Über Modifikationen und experimentell ausgelöste Mutationen von Bacillus prodigiosus etc. (Zeitschr. f. induktive Abstammungslehre, Bd. 2, 1909).

Woltereck R., Weitere experimentelle Untersuchungen über Artveränderung etc. (Verhandl. d. Deutschen Zool. Ges., 1909).

Yule, Udny, On the Theory of Correlation (Journ. Royal. Statistical Society, Bd. 60, Part 4, 1897).

Der heutige Stand der drahtlosen Telegraphie und Telephonie.

Von Dr. **Gustav Eichhorn**, Zürich.

Einer Aufforderung des Herausgebers dieser Zeitschrift folgend, will ich versuchen, in großen Zügen eine Übersicht über den heutigen Stand der drahtlosen Telegraphie und Telephonie oder Radiotelegraphie und Radiotelephonie, wie die neuen Verkehrsmittel seit der Berliner internationalen Konferenz offiziell genannt werden, zu geben. In dem ersten größeren Aufsatze behandle ich das Thema von einem mehr allgemeinverständlichen bzw. technischen Standpunkte, wobei die zahlreichen Illustrationen die Anschauung unterstützen sollen. Spätere Aufsätze sollen dann in wissenschaftlich strengerer Form spezielle Fragen und Probleme erörtern.

Was zunächst den historischen Entwicklungsgang angeht, so kann ich mich kurz fassen. Jeder Gebildete weiß heute, daß die Arbeiten eines der größten Physiker aller Zeiten, nämlich die klassischen Untersuchungen von *Heinrich Hertz* über die Ausbreitung der elektrischen Kraft, das Fundament bilden, auf dem in praxi aufgebaut worden ist. *Hertz* verifizierte so experimentell die geniale, sich auf die Anschauungen des großen englischen Physikers *Michael Faraday* stützende, *Maxwell*sche elektromagnetische Lichttheorie, welche alle Strahlungserscheinungen einheitlich umfaßt. Strahlen des Lichts, strahlende Wärme, Strahlen elektrischer Kraft müssen qualitativ durchaus gleichartige Phänomene sein, sämtlich beruhend auf elektromagnetischen Oszillationen in dem alles durchdringenden „Weltäther“ [1]), in dem sie sich mit der gleichen, enormen, aber endlichen Geschwindigkeit von 300 000 *km* in der Sekunde ausbreiten, unterschieden voneinander nur durch die Größe der Wellenlänge.[2]) Unser Auge, so quasi ein elektrisches

---

[1]) In einem Schlußwort werde ich meinen Standpunkt zu der Weltätherhypothese darlegen, der heute infolge der *Lorentz-Einstein-Minkowski*schen Relativitätstheorie unter den Physikern ein geteilter ist.

[2]) Wir haben die Relation $\frac{\lambda}{T} = n\lambda = V$, wo bedeuten: λ = Wellenlänge, T = Schwingungsdauer, n = Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, V = Fortpflanzungsgeschwindigkeit.

Organ, reagiert auf die sehr schnellen Lichtschwingungen mit entsprechend kleinen Wellenlängen von nur einigen zehntausendstel Millimetern; für den Nachweis der großen Wellen der drahtlosen Telegraphie von hunderten und tausenden Metern Länge besitzen wir in unserem Körper kein Organ, weshalb die Sache so geheimnisvoll aussieht; in diesem letzteren Falle sind wir, um die Wirkungen wahrzunehmen, auf die Benutzung besonderer „Detektoren“ angewiesen.

Hertz selbst hat, als er Mitte der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts den der *Maxwell*schen Theorie damals noch fehlenden experimentellen Beweis erbrachte, eine praktische Benutzung der neuen Erfindung nicht für möglich gehalten. Abgesehen von den Argumenten seiner diesbezüglichen theoretischen Überlegungen muß man sagen, daß hauptsächlich ein praktisch einfacher Indicator bzw. Detektor für große elektrische Wellen fehlte. Eine Erfindung (1890) des französischen Physikers *Branly* führte zur Konstruktion eines ebenso empfindlichen wie einfachen Detektors, des sogenannten Kohärers.[1]) Zwischen Metallelektroden befinden sich Metallkörner und das Ganze liegt in einem schwachen Stromkreis; durch elektrische Bestrahlung sinkt der Widerstand dieses Kohärers, und er läßt nun einen merklichen Strom passieren; durch Klopfen gibt man ihm wieder seinen ursprünglichen Widerstand. Im Jahre 1895 wird bekannt, wie *Popoff* (Kronstadt) durch Benutzung eines solchen Kohärers, dessen einer Pol an einen Blitzableiter angeschlossen, dessen anderer Pol an Erde gelegt war, in Verbindung mit einem Klopfer, Relais und Morseschreiber automatisch luftelektrische Entladungen aufzeichnen ließ. Mit prinzipiell den gleichen Anordnungen beginnt dann endlich 1895 *Marconi* seine Versuche auf dem Landgute seines Vaters bei Bologna. Der *Marconi*sche Sender hielt sich anfangs eng an den *Hertz*schen Oszillator, in der Form, wie er von *Marconis* Lehrer *Righi* zur Demonstration *Hertz*scher Versuche benutzt wurde, und ist auch in seiner weiteren Entwicklung ein solcher geblieben, denn der Luftdraht oder die Antenne an dem einen Pol einer Funkenstrecke und die Erdverbindung an deren anderem Pol, wozu *Marconi* schließlich geführt wurde, sind nichts anderes wie die beiden metamorphosierten Hälften eines *Hertz*schen Oszillators. In das Jahr 1896 fallen *Marconis* Versuche in England mit Unterstützung des Chefs des englischen Telegraphenwesens Sir *William Preece* und in das Jahr 1897 seine Versuche im Hafen von Spezia, woselbst 15 *km* über Land überbrückt wurden. Mit wesentlich den gleichen Anordnungen kamen *Slaby* und Graf *Arco* kurz darauf auf 21 *km* durch Benutzung von 300 *m* langen Luftdrähten, die durch Ballons in die Höhe geführt wurden. Einer weiteren Vergrößerung der Reichweite stellten sich immer größere Schwierigkeiten entgegen. Die

---

[1]) Der Kohärer wird heute nur noch wenig benutzt. An seine Stelle sind elektrolytische, magnetische, thermische und andere Detektoren getreten. Dieses große interessante Kapitel der Detektoren werde ich auch erst in einem separaten Aufsatze behandeln.

Fragestellung, warum dies der Fall, führte dann *Ferdinand Braun* zur Einführung seiner sogenannten gekoppelten Systeme, die eine vollständig neue Epoche in der Radiotelegraphie einleiteten, und deren Benutzung die Reichweite sofort auf Hunderte von Kilometern und mit der Zeit, nach Fertigstellung moderner Großstationen, auf Tausende von Kilometern vergrößerte. Hervorzuheben ist dann die bekannte theoretische Abhandlung aus dem Jahre 1902 von *Max Wien* über die Verwendung der Resonanz in der drahtlosen Telegraphie, die eine gründliche Klärung der Schwingungsvorgänge in gekoppelten Systemen brachte, wie sie ferner auch noch von *P. Drude, J. Zenneck, L. Mandelstam* u. a. in einer größeren Zahl von Arbeiten erstrebt wurde. Die weitere Beschäftigung mit diesem Gegenstand führte *M. Wien* in der Folge zu der eminent wichtigen Entdeckung der Stoßerregung elektrischer Schwingungen durch Verwendung kleiner sogenannter Löschfunken an Stelle der relativ großen Funkenstrecke, wie sie sonst im primären Kreis üblich ist. Der Braunsender, der in der Regel, wie nachher näher ausgeführt werden soll, zwei Kopplungswellen aussendet, wird dadurch einwellig gemacht, auch wird sein Wirkungsgrad erheblich erhöht. Die energische und technisch hervorragende Durchkonstruktion dieses Prinzips, besonders durch die Verdienste von Graf *Arco* und von *Rendahl*, führte dann schließlich zu dem neuen Telefunkensystem der „tönenden Funken“, das sofort die Führung in der ganzen Welt übernahm. Eng hiermit verwandt ist eine weitere Neuheit, der Gleichstromtonsender nach *H. Rein*, der von der *C. Lorenz* Aktiengesellschaft inauguriert wurde, hervorgegangen aus dem Bestreben, die elektrischen Strahlungen in einem beliebigen Tonrhythmus zu steuern. — Die nähere Einsicht der Art der Wellenausstrahlung beim *Braun-Sender*, die man als eine diskontinuierliche erkannte, hatte aber auch wieder dringend darauf hingewiesen, wie wünschenswert es wäre, vollständig kontinuierlich elektrische Wellen zu erzeugen im Bereich benötigter schneller Frequenzen. Ein Ansatz dazu war schon lange historisch gegeben durch eine Entdeckung des englischen Physikers *Duddell*, daß solche kontinuierlichen elektrischen Schwingungen entstehen, wenn unter gewissen Bedingungen ein Schwingungskreis an einen Gleichstromlichtbogen angeschlossen wird. Die erzielte Frequenz erwies sich aber noch als unzureichend. Dieser Übelstand wurde erst beseitigt durch Einbettung des Lichtbogens in eine wasserstoffhaltige Atmosphäre seitens *Valdemar Poulsen*, der auch noch durch andere Mittel, wie die Benutzung eines transversalen Magnetfeldes, Verwendung verschiedenartiger Elektroden und einseitige Kühlung etc. die Intensität und Frequenz der Schwingungen steigerte. Die Erzeugung solcher kontinuierlichen elektrischen Schwingungen erschloß dann auch sofort das Gebiet der drahtlosen Telephonie, die auch zuerst von *Poulsen* ausgeführt wurde. — Das eigentliche Ideal dieser letzteren Schwingungsart wurde aber von den Fachleuten nicht in dieser Lichtbogenmethode gesucht, sondern in der direkten maschinellen Erzeugung elektrischer Wellen nach dem Vorbild der Wechselstromdynamos. Bei früheren diesbezüglichen Ver-

suchen von *Duddell, S. G. Brown, Fessenden, M. Wien* u. a. fehlte es entweder an genügender Frequenz oder Leistung. — Ganz neuerdings ist auch dieses wichtigste Problem durch *Rud. Goldschmidt* (Darmstadt) in seiner Hochfrequenzmaschine gelöst worden.

Ich schließe hiermit die nur große Etappen charakterisierende historische Übersicht ab[1]) und wende mich nunmehr zu Einzelheiten derselben und den technischen Ausführungen. Nur wenige Worte zunächst über den ursprünglichen *Marconi*-Sender. Eine etwa 1 *cm* große Funkenstrecke ist mit ihrem einen Pol an einen Luftdraht, mit dem anderen an Erde angeschlossen; geladen wird das System in der üblichen Weise durch ein Induktorium. Es ist klar, daß die Energiekapazität ($^1/_2$ C . V^2, wo C die Kapazität und V die Spannung an der Funkenstrecke bedeutet) dieses offenen Systems gering ist. Die Notwendigkeit dieses offenen *Hertz*schen Oszillators liegt ja eben in seinem Vermögen, die Energie auszustrahlen, wie es *Hertz* durch seine bekannten Strahlungsdiagramme auch direkt anschaulich gemacht hat. *Hertz* hatte aber schon gefunden, daß eine übermäßige Vergrößerung der Funkenstrecke (zwecks Vergrößerung von V) den Funken „inaktiv" machte; er wies bereits auf die starke Dämpfung seiner Oszillatoren hin und verglich die erzeugten elektrischen Schwingungen mit den schlecht definierten akustischen Schwingungen von Holzstäben. *Bjerknes* hatte im Jahre 1891 die Dämpfung messend verfolgt und das logarithmische Dekrement[2]) für einen linearen Oszillator zu 0·26 gefunden, wenn er nur kleine Funkenstrecken enthielt. Wurde letztere aber bis auf 5 *mm* vergrößert, so stieg das Dekrement bis auf 0·40. Bei der vorhandenen kleinen Kapazität verzehrte der Funke offenbar einen großen Bruchteil der Energie. Es war seit *Helmholtz, Feddersen, W. Thomson, Kirchhoff* eine viel bessere Methode der Erzeugung elektrischer Schwingungen bekannt, nämlich die oszillatorische Entladung von Leidener Flaschen. *Thomson* (Lord *Kelvin*) hatte zuerst rein theoretisch die berühmte Differentialgleichung aufgestellt, aus deren Lösung man Aufklärungen über die Vorgänge ersehen konnte, die dann vielfach experimentell durch Nachprüfung bestätigt wurden. Wichtig war zunächst eine Beziehung zwischen Widerstand (W), Selbstinduktion (L) und Kapazität (C) für die Grenze, die oszillatorische und aperiodische Entladungen voneinander trennt; nur wenn $W < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ können Schwingungen vorhanden sein.

---

[1]) Ich werde auch auf mehr oder weniger eigenartige Modifikationen der führenden Systeme wie z. B. von *Lodge-Muirhead, Fessenden, de Forest, Peukert,* Badische Anilin- und Sodafabrik *(Koch)* u. a. nicht näher eintreten. (Ich will jedoch u. a. verweisen auf eine kleine Schrift: „Wireless Telegraphy. Statement by Sir *Oliver Lodge* with regard to Patent Nr. 11575 of 1897", welche mir vom Verfasser in freundlicher Weise gerade eingesandt wurde und mit der er gewisse Prioritätsansprüche verficht.)

[2]) Das Verhältnis zweier aufeinanderfolgenden Amplitudenwerte von Schwingungen bezeichnet man als ihre Dämpfung und den natürlichen Logarithmus desselben als Dekrement, das als bequemes Maß der Dämpfung benutzt wird.

Besonders wichtig war der Ausdruck für die Schwingungsdauer $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{W^2}{4L^2}}}$, der in die einfache Form[1]) $T = 2\pi\sqrt{LC}$ übergeht, wenn $\frac{W^2}{4L^2}$ gegen $\frac{1}{LC}$ zu vernachlässigen ist, wie es meistens der Fall ist ($\pi = 3{\cdot}14159 \ldots$). Nach der vorher angegebenen Beziehung läßt sich dann hieraus die Wellenlänge berechnen.

Der aus der *Thomson*schen Formel sich ergebende Ausdruck für das logarithmische Dekrement $\delta = \pi W \sqrt{\frac{C}{L}}$ ist nicht ohne weiteres für die Rechnung anwendbar, da in Kreisen mit Funkenstrecke W nicht einen konstanten *Ohm*schen Widerstand repräsentiert, sondern eine unbekannte Funktion der Elektrizitätsmenge, des Potentials und der Frequenz ist; auch sind Energieverluste, die das Dekrement vergrößern, unvermeidlich. *Brauns* Überlegungen gingen nun dahin, daß, wenn es gelinge, eine funkenlose Antenne aus einem durch eine Funkenstrecke geschlossenen Flaschenkreis großer Kapazität (der selbst nicht merklich strahlt) zu Potentialschwankungen zu erregen, deren Mittelwert dem der Anfangsladung im *Marconi*-Sender gleich ist — daß man dann einen wirksamen Sender besitzen würde. Die drei resultierenden Schaltungen, die direkte (magnetisch-galvanische), induktive (elektromagnetische[2]) sowie die aus beiden gemischte, zeigten bald die Richtigkeit dieser Überlegungen in der enormen praktischen Überlegenheit der gekoppelten Systeme über den einfachen *Marconi*-Sender. An Stelle der schwachen stoßartigen Ausstrahlungen des letzteren traten relativ lang anhaltende kräftige Wellenzüge, deren Energie unaufhörlich aus dem großen Energiereservoir des primären Kreises nachgeliefert wurde. Durch zwangläufige Verbindung mehrerer Kreise gleicher Schwingungszahl wurde *Braun* dann ferner noch zu seiner sogenannten Energieschaltung geführt. *Braun* erkannte auch von Anfang an die Wichtigkeit der Resonanz zwischen den voneinander abhängigen Schwingungssystemen. Vollständig aufgeklärt wurden aber die Verhältnisse erst durch die vorerwähnte theoretische Arbeit von *Max Wien*, der auf eine frühere (1895) Arbeit über gekoppelte Schwingungskreise von *Oberbeck* rekurierte. Das Ergebnis war kurz folgendes: Sind beide Systeme — primärer Kreis und offene Antenne (sekundäres System) — auf gleiche Schwingungszahl

---

[1]) Für die Schwingungsdauer der Unruhe einer Uhr gilt die bekannte Pendelformel: $T = 2\pi\sqrt{\frac{K}{D}}$; setzt man an Stelle von D (Direktionskraft der Feder) die Nachgiebigkeit $F = \frac{1}{D}$, so lautet sie $T = 2\pi\sqrt{KF}$, wo K das Trägheitsmoment des Rades bedeutet. Die *Thomson*sche Formel ist also nichts anderes als die Pendelformel für elektromagnetische Schwingungen.

[2]) Die Schaltungen sind prinzipiell nicht voneinander verschieden und können theoretisch voneinander abgeleitet werden, wie es zuerst *Mandelstam* mathematisch gezeigt hat.

gebracht, so resultiert trotzdem eine einzige Schwingungszahl nur dann, wenn die Kopplung zwischen beiden Systemen „lose“ ist. Die Dämpfung der ausgesandten Welle kann dann im günstigsten Falle auf den relativ kleinen Dämpfungswert (der hauptsächlich durch die Funkendämpfung bestimmt ist) des primären Kreises herabgedrückt werden.

Es sei eingeschaltet, daß jede Kopplung zwischen zwei Systemen nicht nur eine Wirkung des Primärsystems auf das sekundäre, sondern auch eine Rückwirkung des Sekundärsystems auf das primäre zur Folge hat. Ist die Rückwirkung so gering, daß sie die Schwingungen im Primärsystem nicht merklich beeinflußt, so spricht man von „loser“ Kopplung, bei starker Rückwirkung von „fester“ Kopplung. *Brauns* Systeme arbeiten gewöhnlich mit einer mittleren Kopplung; ganz fest kann solche in ihnen überhaupt nicht sein wegen der Art der Anordnung bzw. der Selbstinduktion des freien Luftdrahtes.

Bei festerer Kopplung tritt überhaupt nicht eine einzige Schwingung auf, sondern es sind stets zwei sogenannte Kopplungswellen vorhanden von verschiedener Schwingungszahl und Dämpfung, die um so weiter auseinanderliegen, je enger die Kopplung ist. Da die tatsächlichen Verhältnisse sich in Übereinstimmung mit der Theorie befinden, so muß man sich natürlich fragen, wie es möglich ist, daß trotz der nach jeder Entladung offenen Funkenstrecke, die Energie zwischen den beiden Systemen hin und her pendeln kann. Die Erklärung liegt darin, daß leider nach jeder primären Entladung und dem Hinüberfluten der Energie auf die Antenne bei der in Braunsystemen benutzten großen Funkenstrecke letztere niemals vollständig nichtleitend wird infolge der nicht instantan verschwindenden Ionisation. Die unmittelbare Folge dieser Eigentümlichkeit ist eine große Energievergeudung durch den beim Rückfluten der Energie wieder entstehenden Funken und das somit ermöglichte Auftreten der zwei Kopplungswellen, von denen nur die eine im Empfänger[1]) ausgenutzt wird, was gleichfalls wieder eine Energievergeudung bedeutet. Wir werden auf diese Umstände später bei dem Wien-Telefunken-System der „tönenden Funken“ wieder zurückkommen.

Es ist klar, daß bei loser Kopplung[2]) die Energieübertragung an sich reduziert wird; in diesem Falle erhält man deshalb einen schwachen, dafür aber auch schwach gedämpften Wellenzug in Analogie zu einem sanften, langsam abklingenden Stimmgabelton, der nur einen genau gleichgestimmten Empfänger erregt. Im Falle fester Kopplung dagegen entsteht

---

[1]) Verschiedene Versuche, z. B. von *Fleming*, dem wissenschaftlichen Berater von *Marconi*, beide Kopplungswellen im Empfänger auszunutzen, sind nicht zu allgemeiner Durchführung gelangt (vgl. Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie. 3. 191. 1909).

[2]) Bei magnetischer Kopplung wird die Kopplung um so loser, je weiter man sonst unter gleichen Umständen die Systeme voneinander entfernt, bei kombinierter magnetischer und galvanischer Kopplung (direkte Schaltung), je mehr man den gemeinsamen Teil der beiden Systeme reduziert.

ein kräftiger, dafür aber stark gedämpfter Wellenzug, zu dem etwa ein Kanonenschuß, der weithin hörbar ist, in Analogie steht. Die ganz lose Kopplung im Sender kam wegen der resultierenden unvermeidlichen Reduktion der Reichweite nur selten zur Anwendung. Dagegen erwies sich dieselbe im Empfänger als sehr fruchtbar. Wie zuerst von *Mandelstam* in Straßburg, dann auf den meiner Leitung unterstellt gewesenen Ostseeversuchsstationen von *Braun-Siemens & Halske* festgestellt wurde, stieg mit loser Kopplung die Wirkung; dieses Resultat im Empfänger war nicht an die Bedingung einer ebenfalls losen Kopplung im Sender gebunden. *Braun* gibt hieran anknüpfend in seinem Nobelpreisvortrag[1]) folgende Schilderung der damaligen weiteren Entwicklung.

„Aus diesen Versuchen ergaben sich zwei wichtige Resultate: 1. eine große Störungsfreiheit des Empfängers, 2. ein für die drahtlose Technik wertvolles Meßinstrument. Als nämlich *Franke* von der mit uns arbeitenden Firma *Siemens & Halske* die Versuche sah, schlug er vor, darauf einen technisch brauchbaren Apparat zu gründen. Bisher war der Resonanzkreis aus vorhandenen Stücken zusammengestellt worden, je nach den vorliegenden Bedürfnissen und dem, was Passendes zur Hand war. Durch Kombination eines *Köpsel*schen geeichten variablen Drehkondensators mit einer Anzahl berechneter Selbstinduktionen wurde ein Apparat konstruiert, welcher bequem und stetig ein großes Gebiet von Wellenlängen umfaßte. Der Stromeffekt wurde mit einem *Rieß*schen Luftthermometer[2]) gemessen, welches ich schon seit langem für die Intensitätsmessung schneller Schwingungen benutzt hatte. *Dönitz* fiel die technische Ausarbeitung zu. So entstand der von ihm beschriebene und meistens nach ihm benannte Wellenmesser[3]), ein Apparat, welcher unter Benutzung der von *Bjerknes* schon im Jahre 1891 entwickelten Theorie gestattete, gleichzeitig die Dämpfung von elektrischen Schwingungen zu messen, eine Größe, deren numerische Ermittlung immer notwendiger wurde."

Die Fig. 77 zeigt dieses wichtige Meßinstrument[4]), das man also durch das zu untersuchende schwingende System erregt, z. B. induktiv durch eine im Luftdraht angebrachte Meßschleife, und auf Resonanz einstellt. Die Kurven Fig. 78 geben eine solche Aufnahme wieder, bei der die beobachteten Stromeffekte als Ordinaten, die dazu gehörigen Frequenzen als Abszissen aufgetragen sind. Die ·· — Kurve ist der einzigen Welle bei loser Kopplung zugehörig; die stark ausgezogene Kurve zeigt die beiden Kopplungswellen bei normaler Kopplung. (Die noch vorhandene gestrichelte

---

[1]) Vgl. Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie. 4. 1. 1910.

[2]) Ist in neueren Apparaten durch empfindlichere Strommesser ersetzt.

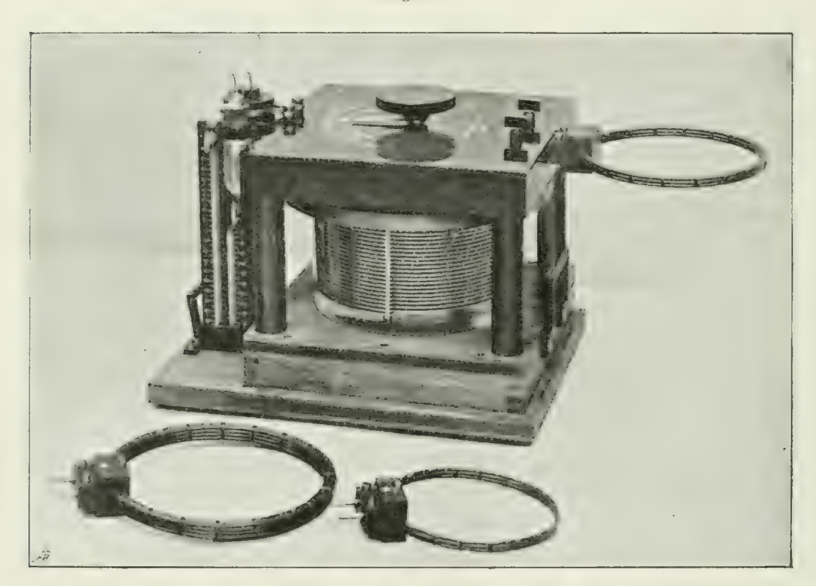
[3]) Die sonst noch benutzten einfachen Wellenmesser mit offener Strombahn werden wegen ihrer nicht genügend genauen Angaben heute nur noch selten benutzt.

[4]) Über Wellenmesser in den verschiedenen verbesserten Modellen beabsichtigte ich mich ebenfalls erst in einem späteren besonderen Aufsatze zu äußern. Ich werde dann auch auf andere Methoden, z. B. die Nullmethode von *Mandelstam* und *Papalexi* zur Bestimmung der Konstanten elektrischer Schwingungskreise, zurückkommen.

Kurve ergab sich aus einem Versuche, durch zusätzliche Dämpfung im Meßkreis zu ermitteln, welche der beiden Wellen die schwächer gedämpfte war.)

Es ist neuerdings von *Mandelstam* ein Pendelmodell[1]) angegeben worden, mit dem man sehr hübsch alle Schwingungsvorgänge in elektrischen gekoppelten Kondensatorkreisen demonstrieren kann, und mit dem ich deshalb die Leser dieses Aufsatzes kurz bekannt machen will. Dieses Modell besteht gemäß Fig. 79 aus zwei Hauptpendel, welche durch ein System von Zahnrädern und ein drittes — mittleres — Pendel miteinander „gekoppelt" sind (mechanisches Analogon für *Brauns* „direkte" Schaltung). In der Figur links sind ferner drei kleine Pendelresonatoren zu


Fig. 77.



Wellenmesser.

sehen; diese leichten Pendelchen sind auf der Achse eines der Hauptpendel befestigt und dienen zur Analyse des Schwingungsvorganges. Die Hauptpendel sind auf der Achse befestigt und tragen verstellbare Gewichte. Das mittlere Pendel, welches die beiden Hauptpendel verkoppelt, ist so beschaffen, daß die Drehungsachse durch seinen Schwerpunkt geht. Den Mechanismus der Verkopplung zeigt deutlicher Fig. 80.

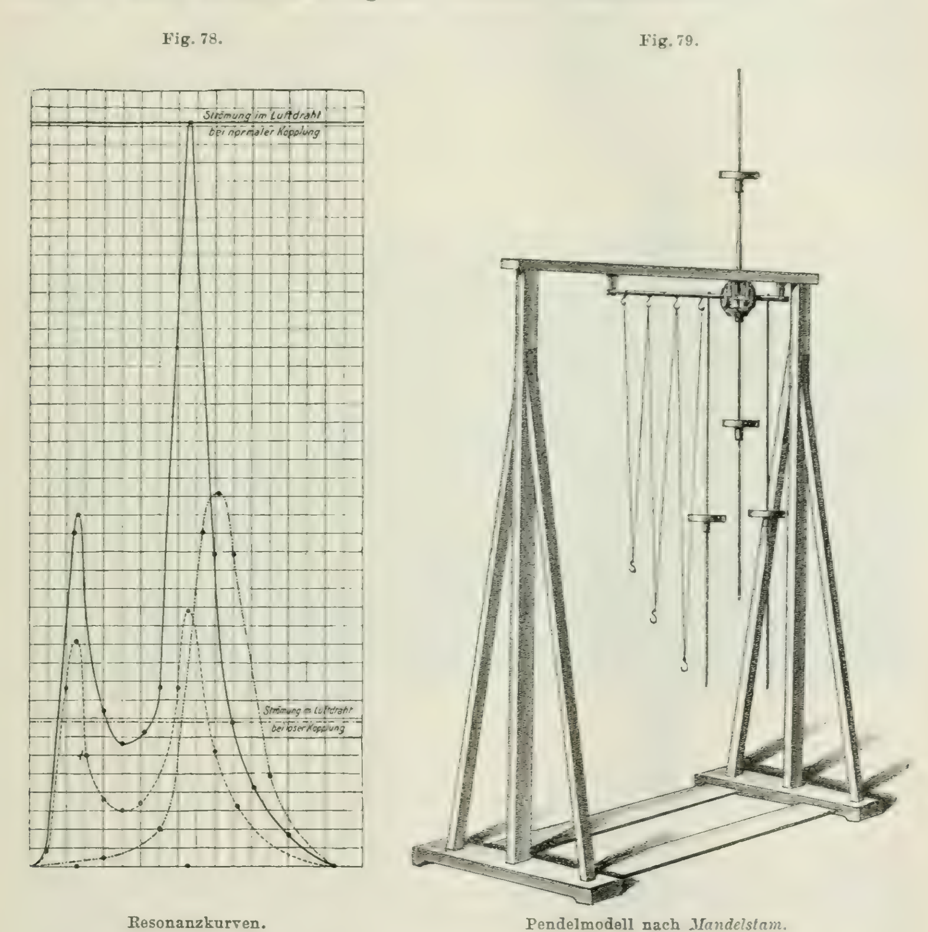
Jedes der Pendel hat eine getrennte Achse, die auf derselben Geraden liegen. Mit den Enden der Achsen der beiden Hauptpendel sind zwei

---

[1]) Beschreibung und theoretische Erläuterung erscheinen im 5. Heft 1911 des zitierten Jahrbuches. Es ist ein willkommener Ersatz für das bisher häufig benutzte Pendelmodell nach *Oberbeck,* das den elektrischen Verhältnissen nicht recht entsprach.

gleiche Zahnräder starr verbunden, deren Zähne in die Zähne eines dritten Zahnrades eingreifen, welches lose auf der Stange des mittleren Pendels sitzt und sich frei um dieselbe drehen kann. Von den kleinen Pendelresonatoren ist das mittlere Pendelchen auf die Eigenschwingungen jedes der beiden Teilsysteme, und die beiden äußeren Pendelchen auf die nach der Verkopplung entstehenden Partialschwingungen [1]) abgestimmt. Es lassen sich mit dem Modell nun folgende Versuche demonstrieren:

Fig. 78. Fig. 79.



Resonanzkurven. Pendelmodell nach *Mandelstam*.

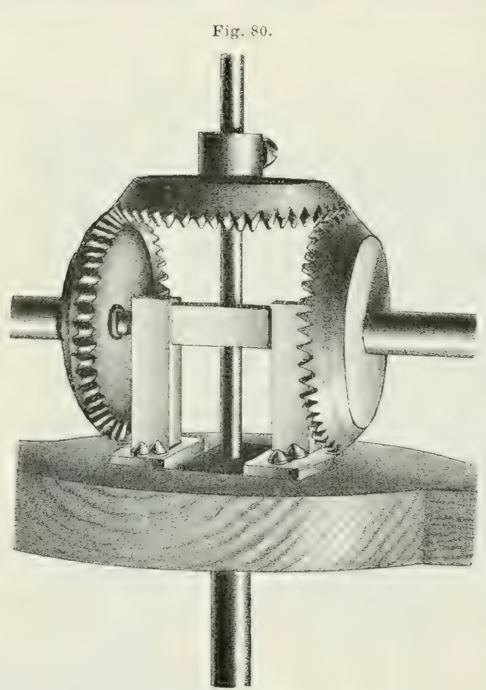
1. Zunächst kann man die Eigenschwingung eines der beiden Teile des Systems zeigen. Bei dem elektrischen System mit Funkenerregung wird in diesem Fall der Kondensator des einen Kreises geladen, bis der Funke durch ein plötzliches Überspringen die Schwingungen auslöst. Dabei bleibt der zweite Kreis unterbrochen. Analog wird beim Pendelmodell das eine

[1]) Über die rein anschauliche Auffassung der Vorgänge bei den gekoppelten Schwingungen vgl. *Braun*, Nobelpreisvortrag. Jahrbuch, l. c. S. 7/9.

Hauptpendel (das linke in Fig. 79) aus der Gleichgewichtslage um einen gewissen Winkel herausgedreht und dann losgelassen, wobei das zweite Hauptpendel mit der Hand festgehalten wird. Man sieht dabei folgendes: Das erste Hauptpendel führt einfache Schwingungen um seine Gleichgewichtslage aus. Alle drei kleinen Pendelchenresonatoren fangen an sich zu bewegen, doch sind die Amplituden recht klein. Allmählich wächst die Amplitude des mittleren Resonators, wird viel größer als die der übrigen und bleibt eine Zeit lang konstant.

2. Um den Schwingungsvorgang bei dem gekoppelten System zu demonstrieren, bringt man eines (zweckmäßig das rechte der Figur) der Hauptpendel wieder aus der Gleichgewichtslage und überläßt es dann sich selbst; dabei wird aber jetzt das andere Pendel **nicht** festgehalten. Dies entspricht elektrisch dem gewöhnlichen Fall, daß man zwei direkt gekoppelte Kondensatorkreise hat, von welchen nur der eine geladen wird. Wir beobachteten am Modell nun das Folgende: Zunächst macht nur das eine Hauptpendel Schwingungen; allmählich kommt dann das andere Hauptpendel in Bewegung, seine Amplituden werden größer, indem gleichzeitig die Amplituden des ersten Pendels abnehmen, dann wieder der umgekehrte Vorgang usw. Wenden wir uns zur Analyse der Schwingungen mittelst der kleinen Resonatoren, so sehen wir hier, daß zunächst wieder alle drei Pendelchen in schwache Schwingungen geraten, daß dann aber die Amplituden der beiden äußeren stark anwachsen, während das mittlere Pendelchen beinahe vollständig zur Ruhe kommt. Man sieht hier also unmittelbar, daß durch die Kopplung zwei Schwingungen entstehen, von denen eine tiefer und die andere höher als die Eigenschwingung jedes der beiden Teilsysteme ist.

Fig. 80.



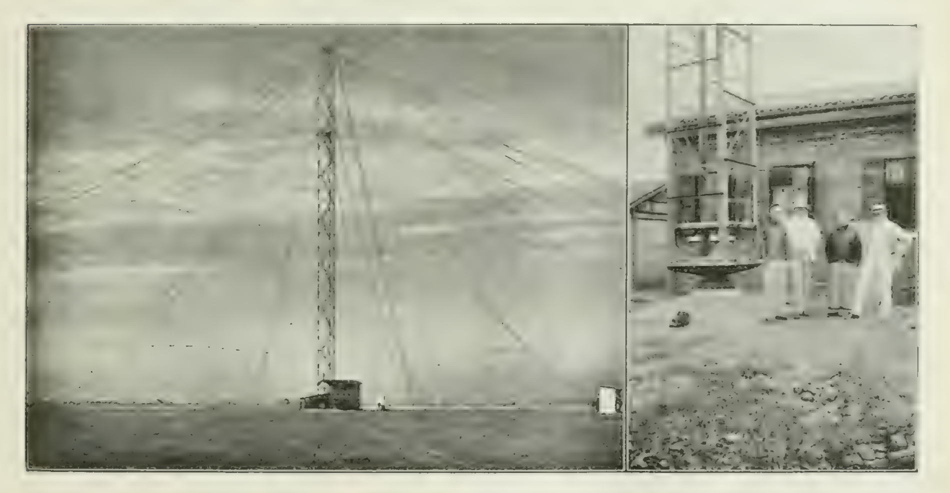
Pendelmodell-Kopplungsmechanismus.

Es sei ferner schon vorweg genommen, wie man mit dem Modell auch die Vorgänge bei der Stoßerregung elektrischer Schwingungen („tönende Funken“, vide S. 154) einfach demonstrieren kann. Das Bild, welches man sich hiervon macht, ist folgendes[1]): Man hat zwei gekoppelte Kreise, von

[1]) Faßt man die Definition der elektrischen „Stoßerregung“ wörtlich auf, so kann man davon nur bei Schaltungen sprechen, wie sie wohl zuerst von mir angegeben

denen der eine — Stoßkreis — geladen wird. Bei der Entladung geht die Energie auf den anderen Kreis über, und sobald die ganze Energie im zweiten Kreise angesammelt ist, erlischt der Funke: der Stromkreis wird somit unterbrochen und der zweite Kreis schwingt von nun an mit seiner Eigenperiode weiter. Bei dem Modell wird analog das zweite, rechte, Pendel in Schwingungen versetzt, das erste, linke, Pendel bleibt frei. Sobald dann die Amplitude des linken Pendels groß geworden ist und dagegen die Amplitude des rechten Pendels bis zu einem Minimum abgenommen hat, wird das rechte Pendel mit der Hand festgehalten. Das linke Pendel fährt fort zu schwingen, und zwar von nun an selbstverständlich mit seiner Eigenperiode. Dies zeigen klar die kleinen Pendelchenresonatoren. Im Anfang kommen alle drei in schwache Schwingungen: sobald aber das rechte

Fig. 81 *a*. Fig. 81 *b*.



Luftleiter-Turm. Station Nauen.

Hauptpendel angehalten ist, nimmt die Amplitude des mittleren Resonatorpendelchens sehr stark zu, während die anderen Pendelchen ganz zur Ruhe kommen.

Ein Hauptrepräsentant von Stationen mit *Brauns* gekoppelten Systemen war die Telefunkengroßstation Nauen (die inzwischen nach dem Prinzip der „tönenden Funken" umgebaut worden ist). In dem äußeren Aufbau der Station fällt die Anordnung des Luftleitungsbildes und der dasselbe tragende Turm, Fig. 81 *a* und Fig. 81 *b*, auf.

Der 100 *m* hohe Turm ist in Eisenkonstruktion mit dreieckiger Basis von etwa 4 *m* Seitenlänge ausgeführt. Die drei Seitenstreben sind durch

wurden (ehemaliges D. R. P. 157.056); durch plötzliches Verschwinden der Strömung in einer Induktionsspule entsteht ein Öffnungsextrastrom, der sich mit vergrößerten Potentialamplituden (gegenüber den sonstigen Lade- oder Entladeschwingungen) in einem vollständig geschlossenen Kreise auspendelt.

Diagonalverspannungen untereinander verbunden und verlaufen von der Turmspitze bis etwa 6 *m* über dem Erdboden parallel zueinander. Am Fußpunkt vereinigen sie sich in einer Stahlgußkugel, die in einer als Druckplatte ausgebildeten Lagerung beweglich ruht. Über eine zwischengelagerte Isolation überträgt sich der gewaltige Druck auf das Betonfundament. Der Turm wird durch isoliert angreifende Pardunen in der Vertikalen gehalten. Das Antennengebilde ist eine Schirmantenne, bestehend aus einer großen Anzahl von in besonderer Weise verseilten Bronzelitzen, die nach abwärts wie die Rippen eines Regenschirmes isoliert gegen Erde ausgespannt sind und eine enorme Fläche bedecken. Von der Turmspitze verlaufen alle Ableitungen des Schirmes, dem Turm entlang geführt, über eine Sammelschiene in das Stationshaus.

Derartige Antennengebilde sind hervorgegangen aus dem Bestreben, zur Vergrößerung der Reichweite die Antennen große Energiemengen aufnehmen zu lassen, ohne daß allzu große Spannungen in derselben durch Sprühen Verluste herbeiführten. So mußte man, nach Erreichung der zulässigen Höchstspannung, die Energie, welche die Antenne aufnehmen sollte, durch Vergrößerung ihrer Kapazität erzielen, was in solchen Schirmantennen am besten realisiert ist. *Braun* führte darüber kürzlich in einigen Aufsätzen in der Frankfurter Zeitung noch folgendes aus: „In Verbindung mit dieser Änderung kam man auf große Wellenlängen. Die Praxis hat damit, von wesentlich anderen Gesichtspunkten geleitet, einen Weg betreten, der, wie später *Sommerfeld* in einer ausgezeichneten theoretischen Untersuchung zeigte, anderer Umstände wegen der richtige war. Wenn diese mächtigen Antennen nun auch, absolut gemessen, viel Energie ausstrahlten, so war doch dieselbe, ausgedrückt in Prozenten der auf ihr vorhandenen Energie, geringer als bei den ganz offenen Sendern, d. h. ihre nützliche Strahlungsdämpfung wurde sehr klein. Die Erregung aus dem geschlossenen Flaschenkreis hatte dann aber für die Dämpfung der ausgesendeten Wellen keinen Vorteil mehr, außer wenn man, wie es auch tatsächlich gelang, die Dämpfung des Kondensatorkreises wieder verkleinern konnte." Wir werden auf diesen Gesichtspunkt noch bei den ungedämpften Wellen später zurückkommen.

Der Antenne entsprechend, ist ferner ein ähnliches Netz von strahlenförmig um den Turm und das Erdreich verlegten Eisendrähten vorhanden. Über die eigentliche Bedeutung der Erdung beziehungsweise des „Gegengewichts" hat zuerst *Zenneck* die richtigen Anschauungen entwickelt. Wir entnehmen seinen diesbezüglichen Ausführungen in seinem ausgezeichneten neueren Werke „Leitfaden der drahtlosen Telegraphie" [1]) folgendes: Würde man eine Antenne, z. B. Einfachantenne, unten frei endigen lassen, so würde sich am unteren Ende ein Stromknoten befinden. Es würde dann zum mindesten mit Schwierigkeiten verknüpft sein, durch Ladung oder auch durch Kopplung mit einem Primärkreis kräftige Schwingungen auf

[1]) Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart 1909.

der Antenne zu erregen. Es sind deshalb folgende zwei Verfahren im Gebrauch: 1. Erdverbindung, 2. Gegengewicht, d. h. ein isoliert von der Erde parallel bei derselben ausgespanntes Drahtnetz. Nur eine gute Erdverbindung, d. h. ein tatsächlich vorhandenes gutes Leitvermögen des Bodens erfüllt den Zweck, daß durch sie an dem Fuße der Antenne ein Strombauch verlegt wird. Die Wirkung eines Gegengewichts auf die Stromverteilung in der Antenne ist von derjenigen einer guten Erdverbindung nicht wesentlich verschieden, gleichgültig wie der Boden beschaffen ist. Die technische Ausführung der Erdverbindung ist besonders einfach bei Schiffen; es genügt hier meistens der Anschluß an irgend einen Teil des metallischen Schiffskörpers; bei Landstationen wird eine Metallplatte in die Erde oder in das Grundwasser versenkt oder es wird ein großes Drahtnetz in die Erde verlegt, wie z. B. in Nauen, wo das kreisförmige Drahtnetz einen Durchmesser von 400 *m* hat und 0·25 *m* tief in die Erde eingepflügt ist. *Zenneck* knüpft hieran noch wichtige Betrachtungen über den Energieverbrauch durch die Erdströme. Wenn man, wie bei der Schirmantenne, das Erdnetz so groß macht, daß es über die Endpunkte der absteigenden Drähte noch ziemlich weit hinausragt, so werden fast alle Induktionslinien zwischen Antenne und Netz in Luft ohne jeden Energieverbrauch verlaufen. Sowohl für den Verlauf der Stromlinien im Boden und ihre Dichte als für die Energie, welche sie verbrauchen, spielt das Leitvermögen des Erdbodens eine wichtige Rolle. Wenn letztere sich ändert, z. B. durch Witterungseinflüsse, so kann die Dämpfung und unter Umständen auch die Frequenz der Schwingung eine Änderung erfahren. Die Erde stellt also (abgesehen bei Seewasser oder sehr nassem Boden) ein variables Element in der ganzen Anordnung dar.[1]) Was die Dämpfung der Antenne angeht, so geben folgende Zahlen annähernde Werte für die Dekremente[2]) der verschiedenen Antennenformen:

Schirmantenne	0·1
Einfachantenne, Schiffs(T)antenne	0·2—0·3
Harfenantenne, Kegelantenne	0·3—0·4
Doppelkegelantenne	0·5

Die folgende Fig. 82 läßt uns einen Blick in den Senderaum von Nauen tun, wo die Schwingungsenergie erzeugt wird. Der vom Generator (vermittelst einer 35 PS. Dampflokomobile) erzeugte Wechselstrom speist die vorne sichtbaren sechs Hochspannungstransformatoren. Der Geberkreis bestand aus einer Kapazität von 360 großen Leidener Flaschen, ferner aus

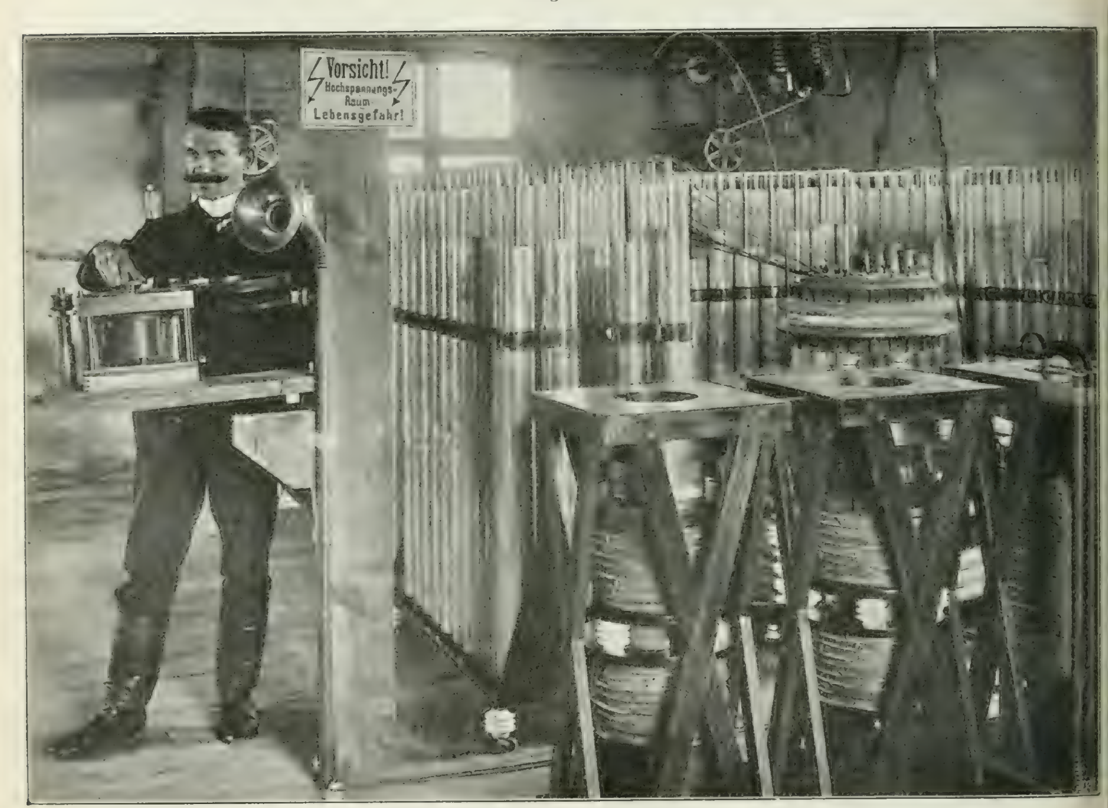
---

[1]) Vgl. auch die Arbeiten von *Sommerfeld* und *Epstein* in Ann. Phys. 28. 665. 1909 und Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie etc. 4. 157. 176. 1910. Obwohl für solche Betrachtungen auch das isolierte Gegengewicht keinen Unterschied machen sollte, habe ich demselben nach eigener Erfahrung doch stets den Vorzug gegeben.

[2]) Nach *Zenneck*, Leitfaden etc. S. 155.

einer ringförmigen Funkenstrecke, in der die Entladungen in armdicken, weißglänzenden Funkenbändern unter donnerähnlichem Krachen vor sich gingen, und der Selbstinduktionsspule, einer aus versilbertem Kupferrohr hergestellten Spirale mit Anschlüssen sowohl für den Erregerkreis als auch zur Kopplung des Luftdrahtes und des Gegengewichts. Eine fest verlegte Meßleitung, welche zum Wellenmesser (in der Figur sichtbar) führt, ermöglichte es, jeden Augenblick die Wellenlänge und den Kopplungsgrad[1])

Fig. 82.



Senderaum. Station Nauen.

zu bestimmen. Die Aufladung der Flaschen geschieht in der üblichen Weise durch die sekundären Wechselströme der Hochspannungstransformatoren. Infolge exakter Resonanz (die sekundäre Spule des Transformators und die sie belastende Kapazität sind so abgemessen, daß die entstehende Periode

[1]) Für praktische Zwecke geht das schnell unter Benutzung der hinreichend genauen Formel, nach der der Kopplungsgrad proportional ist $\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_0}$, wo λ_1 und λ_2 die beiden Kopplungswellen und λ_0 die Eigenwelle bedeuten. Über Kopplungskoeffizienten vgl. sonst *Zenneck*, Leitfaden etc. S. 77 ff.

mit der Periode des primären Wechselstromes übereinstimmt) braucht zur Aufladung dieser gewaltigen Kapazität nur eine verhältnismäßig geringe Energie aufgewendet werden. Man benützt also auch hier das Schwingungs-

Fig. 83.



Telegraphierraum. Station Nauen.

phänomen. Die Strom- und damit auch die Spannungsamplitude steigt mit jeder Periode höher an, und zwar weit über den normalen Wert der Spannung hinaus, bis schließlich die Spannung so groß geworden ist, daß

der Funke durchschlägt. Die Bildung des schädlichen Flammbogens, anstatt eines knallenden Funkens, ist dadurch gänzlich verunmöglicht, auch hat man die Regulierung der Funkenzahl in der Hand. Das Abschalten der Transformatoren geschieht nicht, wie bei kleinen Stationen, durch Öffnen und Schließen des primären Stromkreises vermittelst eines Tasters, sondern durch Kurzschluß der primären Wicklung und gleichzeitig des Wechselstromgenerators auf Drosselspulen vermittelst eines Tasterrelais.

Das Telegraphieren geschieht in einem entfernt gelegenen Empfängerraum, wo man von dem starken Geräusch der Funkenentladungen nichts vernehmen kann. Die folgende Fig. 83 veranschaulicht die Empfangsanordnungen. Von oben wird der Anschlußdraht des Luftleitergebildes eingeführt, das durch den an der Wand sichtbaren Hebel mit einem Handgriff vom Geberkreis auf den Empfangskreis und umgekehrt umgeschaltet werden kann; gleichzeitig wird dadurch beim Empfangen der Wechselstromkreis durch ein Blockierungsrelais ausgeschaltet, so daß ein Geben und somit eine schädliche Einwirkung des Erregerkreises auf die empfindliche Empfängerzellen und den Detektor unmöglich ist. Was allgemein die Ausnutzung der Resonanzfähigkeit im Empfänger angeht, so sei kurz folgendes rekapituliert: *Slaby* und *Arco* erreichten einen abgestimmten Empfänger, indem sie in ihm eine abgestimmte Spule (einen *Hertz*schen Resonator in Spulenform), zwischen deren Enden der Kohärer lag, anbrachten; *Marconi* und *Braun*, gleichzeitig und unabhängig voneinander, indem sie die von der Empfangsantenne aufgenommene Energie wieder — eine Umkehrung des Senders — auf einen abgestimmten Kondensatorkreis übertrugen, wobei von den gegebenen zwei Möglichkeiten der Ausführung zufällig *Marconi* die eine und *Braun* die andere Form wählte. Unter Anwendung der losen Kopplung im Empfänger wurde eine sichere selektive Mehrfachtelegraphie zuerst auf der vorher erwähnten Ostseeversuchsstation demonstriert. Solange die Antenne im wesentlichen ein langgestreckter Draht war und damit eine starke Strahlungsdämpfung hatte, sind diejenigen Empfängeranordnungen beibehalten worden, bei denen die Energie in dem sehr schwach gedämpften Kondensatorkreis lokalisiert wurde. Nach akustischer Analogie entspricht die Antenne dem Resonanzkasten, der Empfangskondensator einer Stimmgabel. Ein prinzipieller Gesichtspunkt für den Empfänger ist auch, ob er momentan auf maximale Potentialamplitude oder auf Integraleffekt wirken soll, und hiernach teilen sich auch die Detektoren in zwei große Klassen, wie ich es in einem besonderen Aufsatze auseinandersetzen werde. Der Kohärer gehört in die erste Klasse und seiner eminent hohen Empfindlichkeit allein ist es zu danken, daß in den alten einfachen Anordnungen der Empfänger auf den winzig kleinen Bruchteil Energie ansprach, der von der vom Sender ausgehenden geringen Energie auf die Fläche der Empfangsantenne entfiel.

Betrachtet man die Vorgänge im Sender etwas genauer, so erkennt man die starke Diskontinuität der Energiestrahlung; bei dem einfachen *Marconi*-Sender hat der Wellenimpuls eine zeitliche Dauer von etwa

0·000001 Sekunden, während die Pause zwischen den einzelnen Impulsen eine Zeit von etwa 0·05 bis 0·03 Sekunden in Anspruch nimmt. Der Braunsender hat zwar aus diesen kurzen Wellenimpulsen mehr oder weniger lang dauernde Wellenzüge gemacht, aber die langen Pausen nicht verkürzt. Rechnet man auf jeden Funken höchstens 25 Schwingungen, so sind bei etwa 50 Funken in der Sekunde also 1250 Schwingungen wirksam; andrerseits betrage die angewandte Frequenz 500.000 per Sekunde. Es wäre dann also während $\frac{1}{400}$ Sekunde eine wirksame elektrische Strahlung vorhanden, während in der übrigen großen Zeit von $\frac{399}{400}$ Sekunden Ruhe herrscht. Durch Vermehrung des Wechsels des Wechselstromkreises steigert man natürlich die Funkenfolge und kürzt die Ruhepausen ab; schließlich sollten sich die erzeugten Wellenzüge fast unmittelbar aneinander anschließen. Dieser Zustand ist aber, wie vorher auseinandergesetzt, mit großen Funkenstrecken gar nicht zu erreichen, und die großen Pausen sind direkt notwendig. Gerade diese Einsicht in Verbindung mit der praktischen Inangriffnahme des Problems der theoretisch geforderten Abstimmung machte wieder darauf aufmerksam, daß nur eine ganz kontinuierliche Ausstrahlung gleichbleibender Amplitude (ungedämpft) des Senders in Verbindung mit einem schwach gedämpften Empfänger die Abstimmung zu ihrer höchsten Vollendung bringen könne. Die historische Entwicklung ist dann auch diesen Weg gegangen in der Ausbildung des Systems für kontinuierliche elektrische Schwingungen durch den dänischen Ingenieur *Valdemar Poulsen*, der für diese Leistung und seine Erfindung des Telegraphons bekanntlich kürzlich zum Ehrendoktor der Universität Leipzig ernannt wurde. Der besseren Übersicht wegen werde ich aber die Ausführungen hierüber zurückstellen und jetzt erst die Verbesserung des *Braun*-Senders durch *M. Wien*, beziehungsweise das daraus entwickelte neue Telefunkensystem der „tönenden Funken“ behandeln.

Braun hatte selbst schon frühzeitig Versuche angestellt, ob es möglich sei, den Flaschenkreis automatisch aus dem schwingenden System auszuschalten, sobald die Energie auf den sekundären Leiter hinübergependelt war. *Brauns* künstliche Mittel[1]) führten jedoch nicht zum Ziel, sondern die Aufgabe wurde erst gelöst[2]) durch *Max Wien*[3]) vermittelst der kleinen Zisch- oder Löschfunken, die von sich aus die Bedingungen erfüllen, welche *Braun* künstlich herstellen wollte.

In der folgenden Fig. 84 veranschaulichen die beiden oberen Kurven nochmals den Schwingungsvorgang in *Brauns* gekoppelten Systemen; die beiden unteren Kurven zeigen den Vorgang bei dem *Wien*schen System. Ich ver-

---

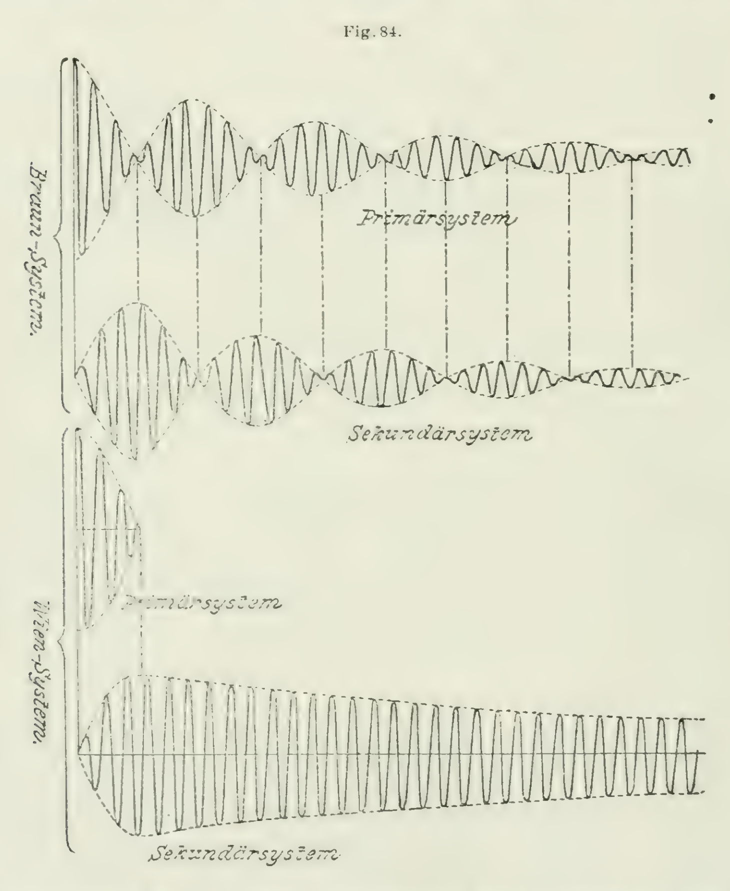
[1]) Vgl. Jahrbuch l. c. Nobelpreisvortrag. S. 19.

[2]) Eine andere Lösung gelang *Rendahl* mit der Quecksilberfunkenstrecke, die sich aber praktisch nicht bewährte.

[3]) Vgl. Physikal. Jahrb. 1906. S. 872 und Jahrbuch. 1908. S. 469; 1909. S. 551; 1910. S. 135.

weise nunmehr auf das, was ich bei der Beschreibung des Pendelmodells am Schluß über die Demonstration der Stoßerregung von Schwingungen gesagt habe. Auf der elektrischen Realisierung dieses letzten Vorganges beruht das Grundprinzip des neuen Wien-Telefunkensystems. *Wien* wurde zu seiner Entdeckung geführt durch seine zahlreichen Untersuchungen über die Dämpfung gekoppelter Schwingungen. Die unregelmäßige starke Dämpfung des Funkens bildete die größte Schwierigkeit, die der Vermin-

Fig. 84.



derung der Dämpfung in dem *Braun*schen Kondensatorkreis mit großer Funkenstrecke entgegenstand. Man konnte nun auf den Gedanken kommen, den Einfluß des Funkens in der Weise zu eliminieren, daß man die Schwingungen durch Induktion auf einen zweiten Kondensatorkreis ohne Funkenstrecke übertrug. Dies schien aber aussichtslos, da theoretisch bei fester Kopplung der beiden Kreise infolge der Rückwirkung des primären Kreises die Dämpfung der Schwingungen im zweiten Kreis doch sehr groß ist, während andrerseits bei loser Kopplung die übertragene Energie zu klein wird. *Wien* fand dann aber, daß in diesem Falle die Dinge sich jedoch

ganz anders gestalten, wenn man den primären Kondensatorkreis nicht durch die übliche größere Funkenstrecke, sondern durch kurze, sogenannte Zisch- oder Löschfunken erregt. Dann sind die sonst bei gekoppelten Systemen auftretenden zwei Wellen praktisch verschwindend schwach geworden, dagegen tritt eine allein in Betracht kommende dritte Schwingung mit sehr geringer Dämpfung hervor, wie wenn das vollständig geschlossene Zwischensystem für sich, wie in ungekoppeltem Zustande sich ausschwinge. Als Grund dieser Erscheinung erkannte *Wien* sofort die starke Zunahme der Funkendämpfung während der Entladung und sprach auch gleich die Erwartung aus, daß es gelingen werde, auf diese Weise in der Praxis der drahtlosen Telegraphie schwach gedämpfte elektrische Schwingungen zu erzeugen. In der Tat nähern wir uns hier dem geschilderten Vorgang beim festgehaltenen primären Pendel. Die hauptsächlichsten Bedingungen für gutes Funktionieren der Methode sind, daß die Dämpfung des primären Kreises — auch Stoßerregerkreis genannt, im Sinne des geschilderten Vorganges der Schwingungserregung — mindestens zehnmal größer sein muß als die des sekundären Kreises, und daß die Kopplung zwischen beiden nicht zu fest sein darf; sie hat ein Optimum.[1]) Der Unterschied zwischen dem bisherigen *Braun*-Sender und dem neuen *Wien*-Sender ist also, abgesehen von der Verschiedenartigkeit der Funkenstrecke, der, daß zwischen dem primären Erregerkreis und der Antenne noch ein Zwischensystem eingeschaltet ist, in dem die schwach gedämpften Schwingungen erregt werden. Infolge der sehr geringen Dämpfung des Zwischensystems wird auch bei loser Kopplung mit der Antenne fast die gesamte Energie in Strahlung umgesetzt. Die Schwingungsfrequenz ist praktisch die des Zwischensystems; Erregersystem und Antenne haben nur einen geringen Einfluß. Das Zwischensystem kann sehr fest montiert und in geschlossenem Raume aufbewahrt werden, so daß eine Änderung seiner Schwingungszahl nicht zu befürchten ist. Bei dem *Braun*schen Sender ist die Antenne mit maßgebend für die Schwingungszahl der ausgesandten Wellen, was vor allem wegen

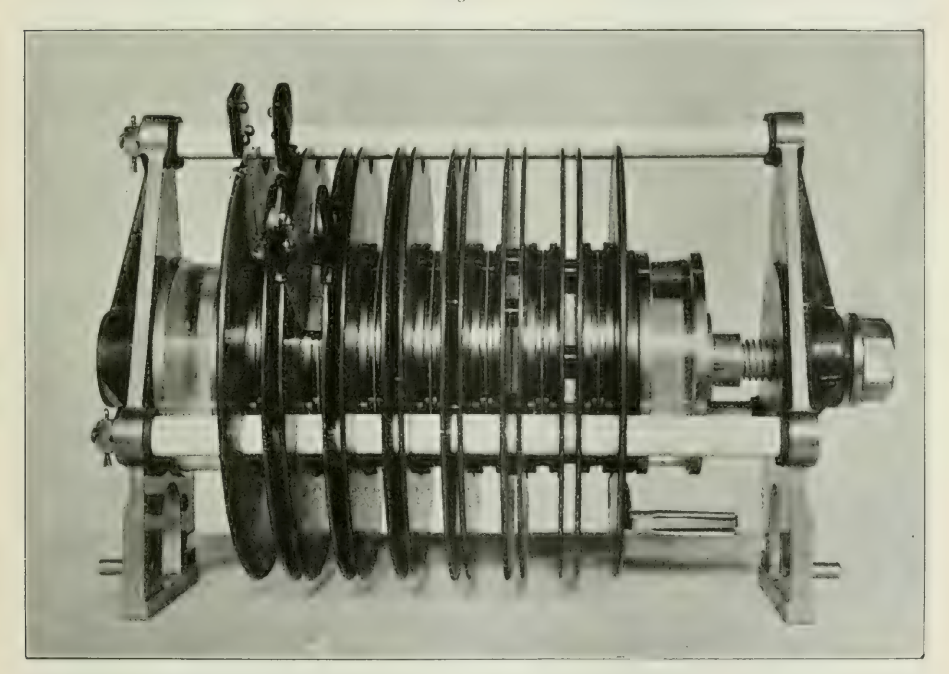
[1]) Bei der *Wien*schen Methode strömt die Energie aus dem Primärkreis je nach der Stärke der benutzten Kopplung mehr oder weniger schnell in den Sekundärkreis hinüber. In dem Augenblick, in welchem sich die gesamte Energie in dem Sekundärkreis befindet, am Ende einer Schwebung, ist die Energie im Primärkreis ein Minimum; sie genügt nicht mehr, die Leitfähigkeit der Funkenstrecke aufrecht zu erhalten. Infolgedessen erlischt diese. Dieses Erlöschen der Funkenstrecke kann nun bei eng gekoppelten Kreisen entweder schon nach Ablauf der ersten Schwebung oder auch erst nach einer größeren Anzahl von Schwebungen erfolgen; je kleiner diese Anzahl, um so besser wird die Löschwirkung der Funkenstrecke sein. Für gute Stoßerregung sollte das Abreißen des Funkens stets am Ende der ersten Schwebung erfolgen. Ist die Zeit für das Verschwinden der Leitfähigkeit einer Funkenstrecke gegeben, so muß man die Kopplung der beiden Kreise und damit die Dauer einer Schwebung so einstellen, daß diese gerade gleich, jedenfalls nicht kleiner ist als die Löschzeit. Je kleiner die letztere ist, um so engere Kopplung ist zulässig, ohne daß die reine Stoßerregung bzw. Einwelligkeit gestört wird. Bei den neuen Löschfunkenstrecken des Wien-Telefunkensystems ist die Löschzeit so, daß man bis zu Kopplungen von etwa 20% gehen darf (vgl. *Br. Glatzel,* Ann. Phys. **34**. 711 ff. 1911).

der Witterungseinflüsse auf die Frequenz der Antenne bei sehr scharfer Abstimmung bedenklich sein kann. Die Antenne braucht nicht auf die Schwingungszahl des Zwischensystems eingestimmt zu sein. Im Gegenteil kann dieselbe Antenne ungeändert in weiten Grenzen für verschiedene Frequenzen benutzt werden. Nur muß zur Übertragung der gleichen Energie die Kopplung mit der Antenne um so fester gemacht werden, je größer die Dissonanz ist. Die Telefunkengesellschaft läßt vorläufig das Zwischensystem noch fort, da ihr die erforderliche geringe Dämpfung des letzteren zu erreichen bis jetzt noch nicht gelungen ist und weil durch dasselbe hinsichtlich Variation der Wellenlänge und Kopplung gewisse praktische Komplikationen hereingebracht werden. Dieses Fortlassen des Zwischensystems ist aber nur bei Anwendung ganz schwach gedämpfter Antennensysteme möglich.

Die Funkenfolge bzw. Stoßfolge kann unter Benutzung von hochfrequenten Wechselströmen (500—2000 sekundliche Wechsel) auf eine solche von etwa 500—2000 pro Sekunde eingestellt werden, und zwar so regelmäßig, daß die Funken einen klaren musikalischen Ton geben, weshalb für dies System auch die kurze Bezeichnung „tönende Funken" gewählt wurde. Der Fachmann wird sofort daran denken, daß für die benötigten sehr kleinen Funkenstrecken, namentlich wenn sie in sehr großer Anzahl angewendet werden, wie dies bei großen schwingenden Energiemengen erforderlich ist, die Gefahr vorliegen wird, daß leicht ein Festbrennen und Zusammenfritten in der Funkenstrecke (besonders bei zufällig nicht angeschlossener Antenne) stattfinden kann. Dieser tatsächlich anfangs vorhanden gewesene Übelstand ist jetzt durch die sogenannte Serienfunkenstrecke beseitigt (Fig. 85). Die Gesamtenergie wird auf so viel Funkenstrecken gleichmäßig verteilt, daß jede einzelne nur in zulässiger Weise beansprucht wird. Je größer die umzusetzende Energie, um so mehr Teilfunkenstrecken werden in Serie geschaltet. Die in sehr kleinen fixen Abständen gehaltenen Elektrodenplatten sind gekühlt und aus glutwärmeleitendem Material (Kupfer, Silber) hergestellt. Es wird auf diese Weise also pro Sekunde eine große Anzahl oszillatorischer Kondensatorentladungen erzeugt; jede derselben hat eine große Anfangsamplitude, die aber sehr schnell abfällt. Die angekoppelte Antenne empfängt also pro Sekunde eine große Anzahl von Impulsen, von denen jeder in ihr freie elektrische Schwingungen von einer bestimmten Periode erregt. Man kann deshalb auch die „tönenden Funken" bei Hörempfang im Telephonhörer als Ton gegenüber anderen störenden Geräuschen bequem heraushören; besonders unterscheidet er sich leicht von den knackenden Geräuschen, die durch die atmosphärischen Entladungen erzeugt werden und bekanntlich in den Tropen oft stundenlang den regulären Betrieb unmöglich machen. Die Anwendung eines bestimmten Tones gibt dabei jedem Sender eine gewisse Individualität; bei gleichzeitiger Mehrfachtelegraphie durch ein und dieselbe Antenne im Empfänger wird auch bei gleicher Wellenlänge einfach ein Telegraphist die Telegramme des niedrigeren Tones, ein anderer die des höheren Tones niederschreiben.

Auch läßt sich ein solch flötender Ton sehr leicht an der Empfangsstelle durch einen Resonanzlautverstärker (sogenanntes Telephonrelais) derart verstärken, daß man auch die schwächsten Signale wie die lauten Signale einer Automobilhuppe im Stationsraum objektiv ertönen lassen kann, während andrerseits der Sender absolut geräuschlos arbeitet im Gegensatz zu den bisherigen donnernden Funkenentladungen des alten Telefunkensystems. Ferner wird jetzt nur eine einzige Welle ausgesandt, die in ihrer Schwingungszahl absolut konstant bleibt und infolge ihrer geringen Dämpfung eine sehr scharfe Abstimmung gestattet.

Fig. 85.



Serienfunkenstrecke für „tönende Funken".

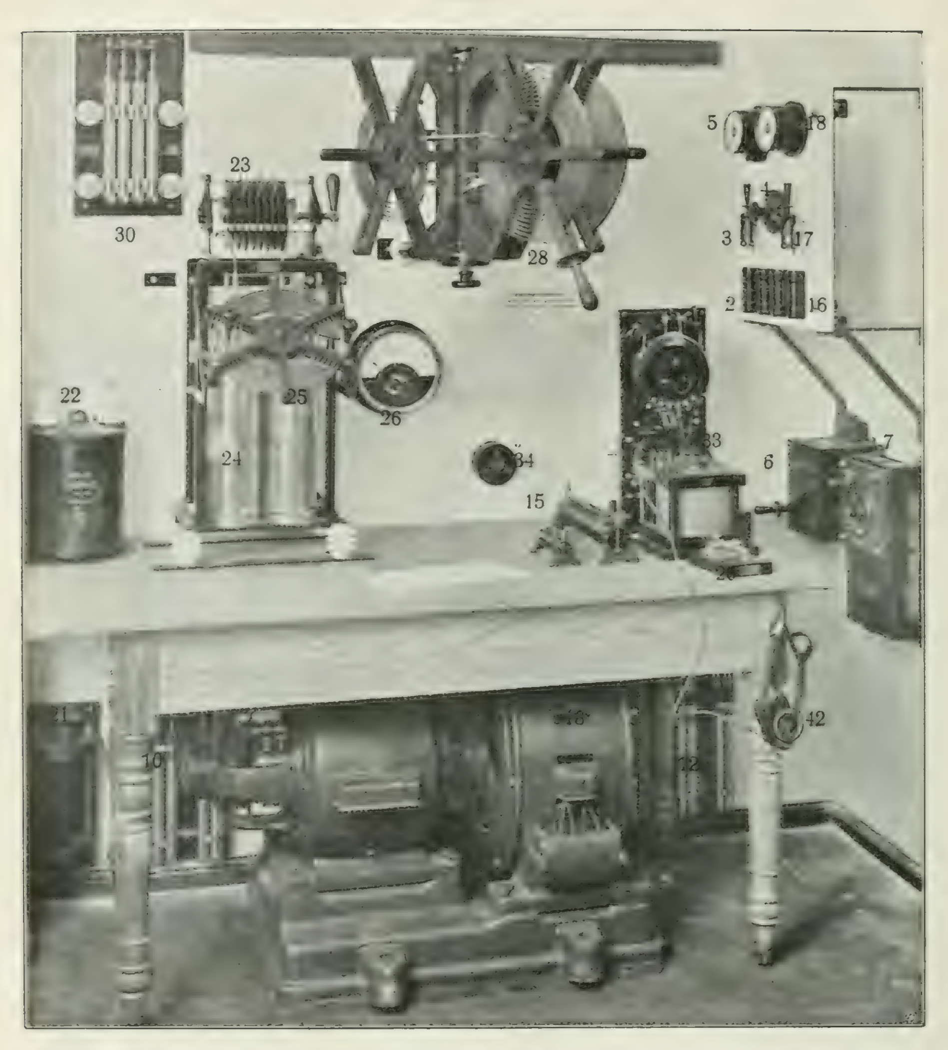
Die folgende Fig. 86 zeigt eine komplette Telefunkenstation.

Von der Apparatur sei der wichtige Hörempfänger, Fig. 87, noch etwas näher beschrieben. (Schaltung Fig. 88 *a* und Fig. 88 *b*, *a)* für kurze Wellen, *b)* für lange Wellen.)

Dieser Empfangsapparat der Telefunkengesellschaft eignet sich für alle Stationstypen, seines gedrungenen Baues wegen besonders für fahrbare und Schiffsstationen, wo der Raum beschränkt ist.

Als Detektor wird ein quantitativ arbeitender verwendet, der durch die Berührungsstellen zweier geeigneter Materialien gebildet ist. Dieser besitzt die Eigenschaft, die ihn durchfließenden Schnellfrequenzströme gleichzurichten entweder durch eine Thermowirkung oder als Ventil. Der De-

Fig. 86.



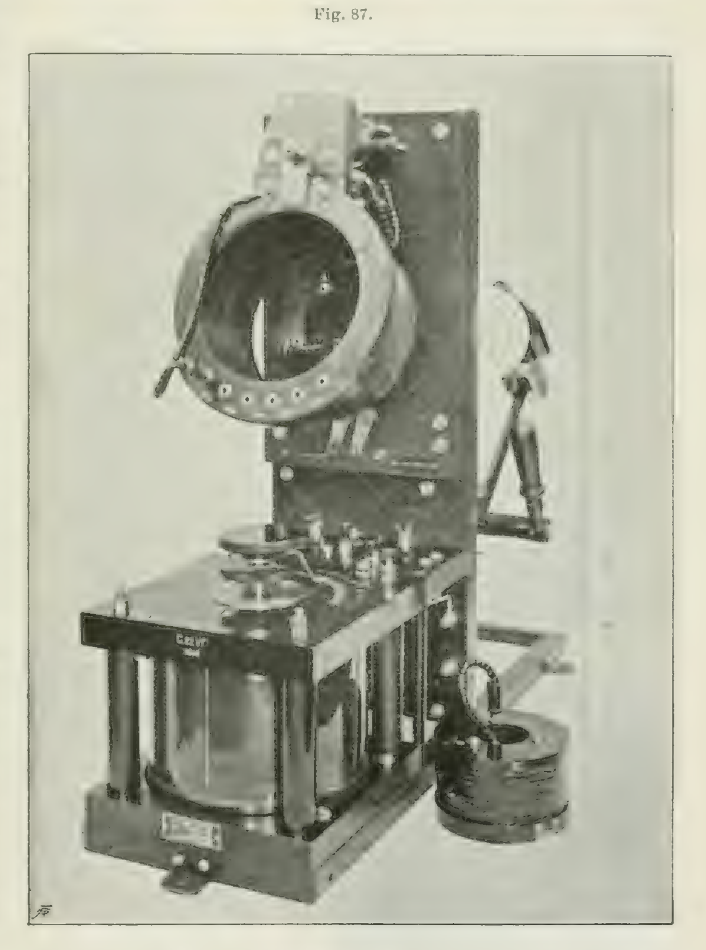
2 = Sicherung für Gleichstrom 40 Amp.
3 = Schalter für Gleichstrom.
4 = Voltmeter-Umschalter.
5 = Voltmeter 250 Volt.
6 = Anlasser.
7 = Tourenregulator.
8 = Gleichstrommotor 4 P. S. 110 Volt 1500 Touren.
10 = }
11 = } Hochfrequenzsicherungen.
12 = }
13 = Hochfrequenzgenerator 2 KW. 220 Volt, 500 Period.
15 = Schiebewiderstände für Erregung und Hochfrequenz-Generator.
16 = Sicherungen für Wechselstrom 30 Amp.
17 = Schalter für Wechselstrom.
18 = Amperemeter für Wechselstrom 50 Amp.
20 = Taster.
21 = Primärdrossel.
22 = Transformator 220/8000 Volt.
23 = Löschfunkenstrecke 8teilig.
24 = Erregerkapazität zirka 24000 *cm*.
25 = Erregerselbstinduktion.
26 = Antennenamperemeter 20 Amp.
28 = Antennenvariometer.
30 = Antennenverkürzungskapazität.
33 = Empfangsapparat.
34 = Primäre Transformatorspule des Empfängers.
42 = Telephon.

tektor hat vor dem elektrolytischen den Vorzug, ohne hilfselektromotorische Kraft zu arbeiten, so daß der Empfangsapparat keine Batterie mehr

enthält und auch eine Regulierung der Batteriespannung in Form eines Potentiometers fortfällt. Bei schwacher Strahlungsintensität, also auf größere Entfernungen, zeigt dieser Detektor eine merklich größere Empfindlichkeit als der elektrolytische.

Die Schaltungsweise des neuen Apparates ist ebenfalls vereinfacht. Unter dem Empfangsklapptransformator, welcher oben auf dem senkrechten Stirnbrett sitzt und äußerlich mit dem bisherigen völlig übereinstimmt, dagegen im Innern andere Wicklungen nach Windungszahl und Drahtquerschnitt trägt, erblickt man einen zweipoligen Umschalter mit den Aufschriften „kurze und große Welle“. Bei Stellung „kurze Welle“ ist die Schaltung: Luftdraht, Verlängerungsspule, Drehkondensator, Erde bzw. Gegengewicht. Bei der Stellung „große Welle“ ist die Verlängerungsspule mit dem Drehkondensator zu einem Schwingungskreis zusammengeschlossen und an die Pole des Kondensators einerseits der Luftdraht, andrerseits die Erde bzw. das Gegengewicht angelegt. Bei der ersteren Stellung (kurze Welle) können alle Wellenlängen aufgenommen werden von etwa der halben Grundschwingung der Empfangsantenne ab bis zum 1·3fachen Werte. Mit der Schaltung „große Welle“ dagegen beginnt die Wellenskala mit der 1·3fachen Grundschwingung der Empfangsantenne und reicht bis zur 4—7fachen Verlängerung. Der Vorteil der geschlossenen Kreisschaltung

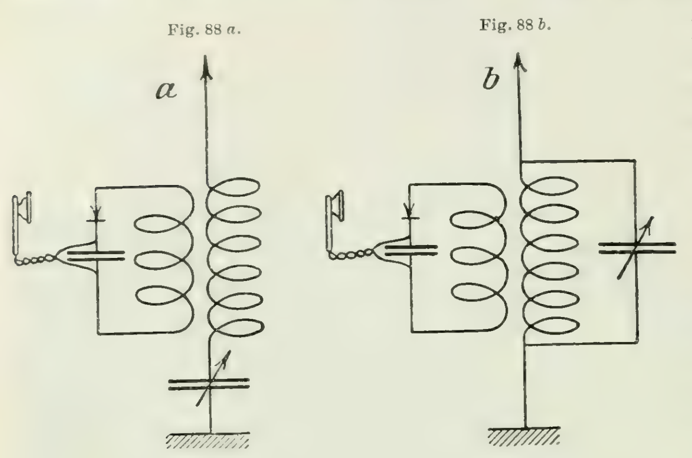
Fig. 87.



Hörempfänger.

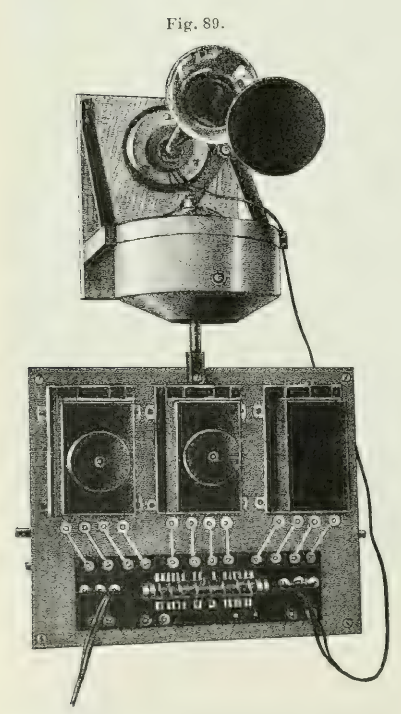
(Sammelschaltung) besteht darin, daß durch Zuhilfenahme des Kondensators die Verlängerungsspulen wesentlich kleiner werden als bei der normalen Schaltung. Dies macht sich namentlich bei Antennen von geringer Kapazität angenehm geltend.

Fig. 88 *a*. Fig. 88 *b*.



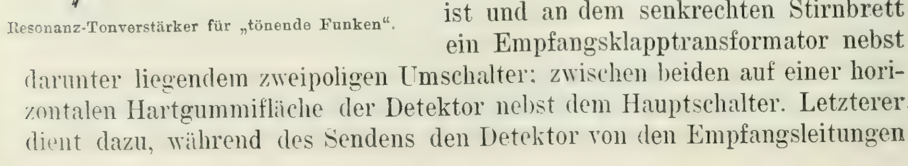
In beiden Schaltungen wird die Energie aus der primären in der Antenne liegenden Transformatorspule der sekundären Transformatorspule zugeführt. Diese bildet mit dem Detektor zusammen einen aperiodischen Kreis. Aus dieser vereinfachten Schaltung ergibt sich der große praktische Vorteil, daß für jede Welleneinstellung stets nur ein Kreis abzustimmen ist, nämlich bei kleiner Welle der Antennenkreis, bei großer Welle der Sammelkreis. Früher waren mindestens zwei (meist lose gekoppelte) Kreise genauestens untereinander und auf die Sendewelle abzustimmen. Selbst für einen geübten Mann war diese Operation stets schwierig und wurde meistens mit ungenügender Genauigkeit ausgeführt.

Fig. 89.



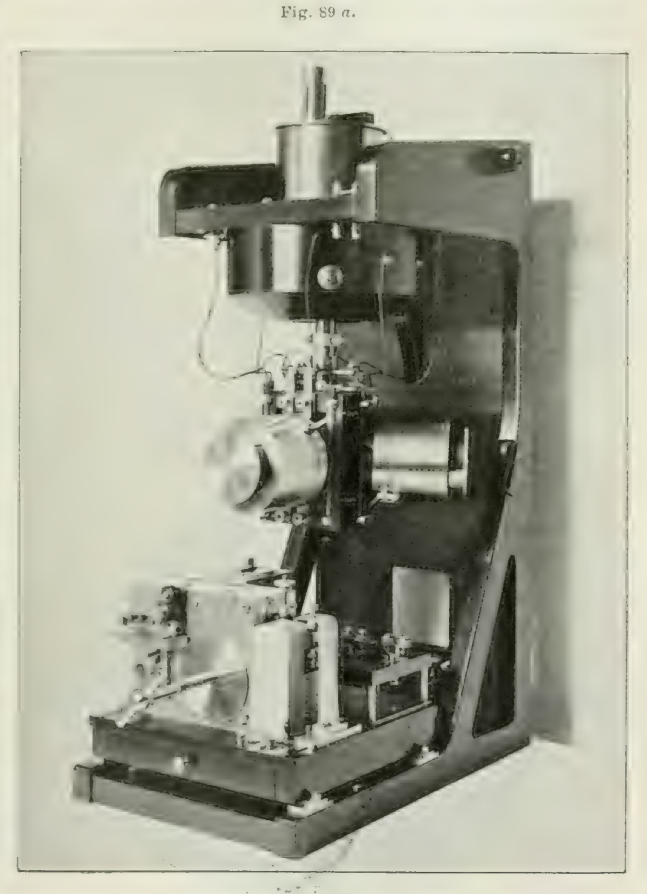
Resonanz-Tonverstärker für „tönende Funken".

In konstruktiver Hinsicht hat die vereinfachte Schaltungsweise den großen Vorteil sehr kleiner Abmessung gebracht. Der Apparat ist, wie die Figur zeigt, in der Weise zusammengebaut, daß im Sockel des Apparates mit schrägliegender Achse ein Drehkondensator angebracht ist und an dem senkrechten Stirnbrett ein Empfangsklapptransformator nebst


darunter liegendem zweipoligen Umschalter; zwischen beiden auf einer horizontalen Hartgummifläche der Detektor nebst dem Hauptschalter. Letzterer dient dazu, während des Sendens den Detektor von den Empfangsleitungen

abzutrennen und die Primärleitung des Sendetransformators bzw. Induktors, welche auf der Figur als Starkstromstöpsel unterhalb des Kondensators sichtbar ist, einzuschalten, während beim Empfang die umgekehrten Verbindungen hergestellt sind. Besonders praktisch ist die Konstruktion des Luftdrahtumschalters vom Senden zu Empfang. Es befindet sich hinter der senkrechten Stirnwand ein Hochspannungspol, zu welchem der Luftdraht und die Leitung zum Sender führt. Ein Schalter, welcher die Verlängerung des im Hauptschalter befindlichen rechts sitzenden Handgriffes bildet, legt sich bei Stellung auf Empfang in diesen Pol ein. Hierdurch ist der Luftdraht an den Empfänger an- und die Sendeenergie automatisch abgeschlossen. Wird der Handgriff um 90° nach aufwärts und vorwärts bewegt, so wird der hinten befindliche Hochspannungsschalter frei. Der Sender ist automatisch mit dem Luftdraht verbunden und der Empfänger abgetrennt und die Lokalleitungen unterbrochen. Durch diese Konstruktion ist es geglückt, die gesamte Hochspannung von den zugänglichen Teilen vollkommen fernzuhalten und sie auf einen einzigen gut isolierten und gut geschützten Pol zu beschränken.

Fig. 89 *a*.



Resonanz-Tonverstärker mit Morseschreiber.

In elektrischer Beziehung ist noch bei dem neuen Apparat hervorzuheben die außerordentlich große Wellenskala. Die Größe derselben richtet sich in erster Linie nach den elektrischen Eigenschaften der Empfangsantenne. Bei einer normalen Schirmantenne von etwa 1000 *cm* Kapazität beträgt die Wellenskala dieses Apparates 250—3000 *m* bei 2000 *cm* Antenne von 350—4200 *m* usw.

Die Abstimmung des Empfängers auf eine unbekannte Welle wird folgendermaßen ausgeführt:

1. Der Empfangstransformator ziemlich fest gekoppelt.

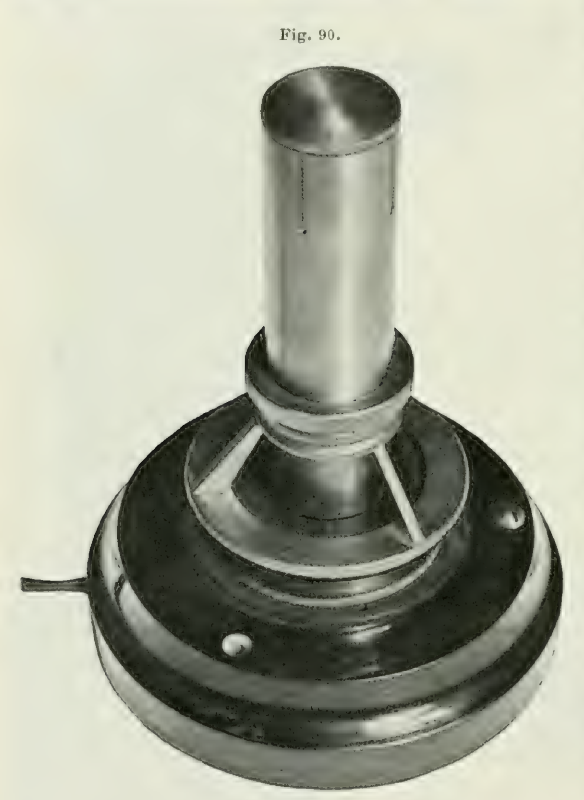
2. Der Kondensator langsam über die Skala gedreht.

Falls der Sender auf der eingestöpselten Spule nicht zu finden ist, werden nacheinander alle zugehörigen Spulen eingesetzt.

Sobald der Empfang da ist, wird der Transformator loser gekoppelt und gleichzeitig die Abstimmung nachkorrigiert.

Der wichtige neue Resonanz-Tonverstärker ist in Fig. 89 veranschaulicht in der Konstruktionsausführung für Schiffszwecke. An einem prismatischen Körper, welcher einerseits kardanisch, andrerseits elastisch und gut gedämpft aufgehängt ist, sind drei in Serie geschaltete einzelne Resonanzrelais mit Mikrophonkontakten aufgehängt. Zur Erhöhung der Selektion ist außer der mechanischen Abstimmung auch eine akustische in Anwendung gekommen.

Fig. 90.



Das lautsprechende Telephon hat statt eines gewöhnlichen Schalltrichters einen kontinuierlichen variablen akustischen Resonator in Gestalt einer ausziehbaren offenen Röhre, Fig. 90.

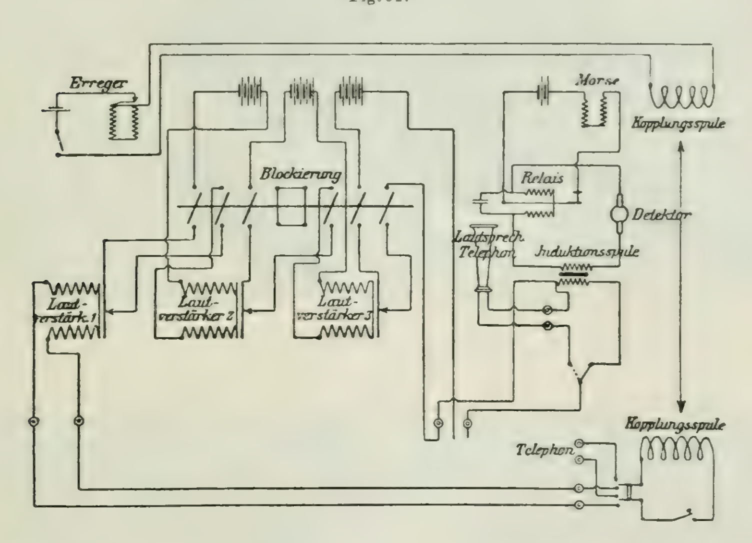
Der Tonverstärker beruht auf der Verwendung mechanischer Resonanzsysteme geringer Dämpfung. Der rhythmisch pulsierende Detektorgleichstrom geht durch die hochohmige Wicklung eines Elektromagneten, in dessen Felde sich ein leichter Anker mit ausgesprochener Eigenschwingung befindet, und zwar genau von der Periode des zu erwartenden Tones. Gegen diesen Resonanzanker liegen Mikrophonkontakte, welche in Verbindung mit der Wicklung eines zweiten derartigen Elektromagneten und mit einer Lokalbatterie durch diesen einen verstärkten pulsierenden Gleichstrom vom gleichen Rhythmus senden und einen vor diesem zweiten Elektromagneten befestigten zweiten Resonanzanker zu verstärkten Amplituden anregen. Durch dreimalige Verstärkung wird die

Stromstärke auf einen solchen Wert gebracht, daß ein lautsprechendes Telephon, oder mit Zwischenschaltung geeigneter Relais, ein Morseschreiber (Fig. 89 *a*) betätigt werden kann, der mit dem Kohärer[1]) aus der drahtlosen Technik verschwunden war.

Fig. 91 zeigt die komplette Schaltung, Fig. 92 ein neueres Modell eines Tonumformers.

Ferner soll Fig. 92 *a* noch die gerade von der Telefunkengesellschaft konstruierten Demonstrationsapparate für tönende Funken veranschaulichen; von einer näheren Beschreibung möchte ich an dieser Stelle absehen.

Fig. 91.



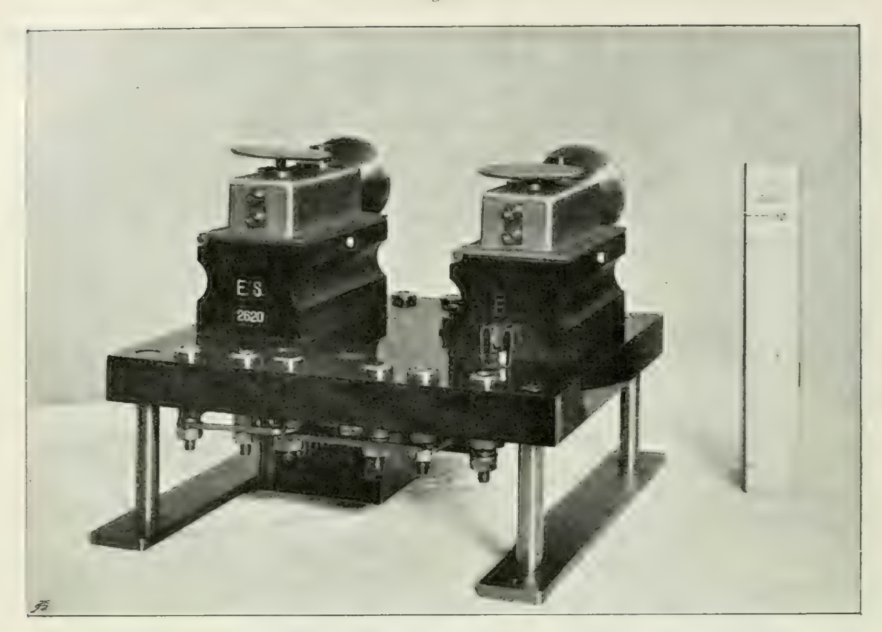
Was den Wirkungsgrad des durch die Stoßerregung einwellig gemachten Senders angeht, so mögen folgende Angaben aus einem Vortrage des Grafen *Arco* dienen:

1. Niederfrequenzspannung.

a) Dem Motor zugeführte Gleichstromenergie . . .	2950	Watt
Verluste im Motor	450	„
	2500	Watt
b) Dem 50 Perioden-Generator zugeführte Energie .	2500	Watt
Verluste im Generator	650	„
	1850	Watt

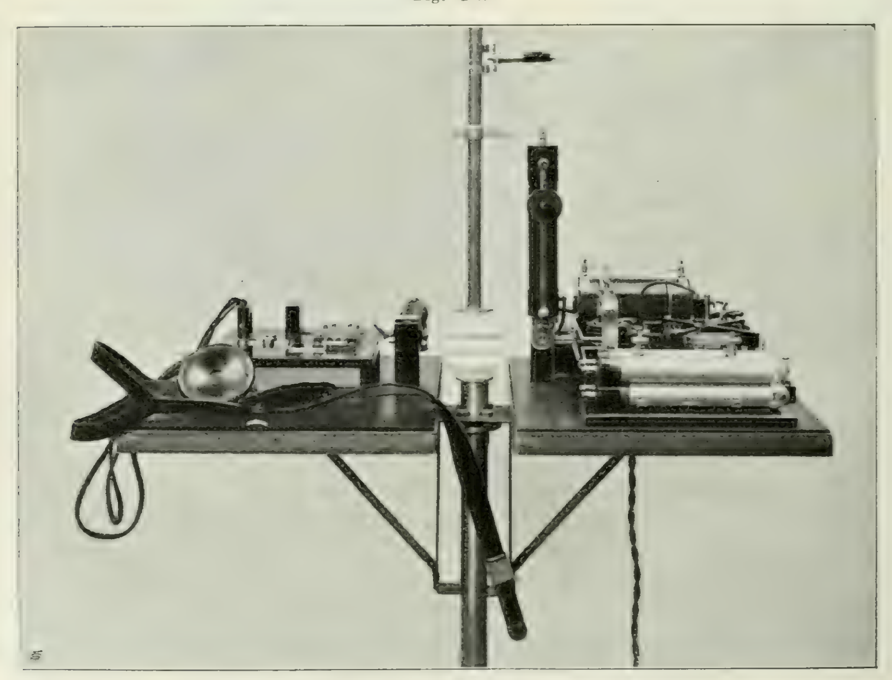
[1]) Der Kohärer wirkte als Relais und wurde durch eine an seinen Polen auftretende Mindestspannung betätigt. Die neueren Detektoren arbeiten dagegen in der Mehrzahl in der Weise, daß sie die ankommende Schwingungsenergie gleichrichten; mit dem so erzeugten pulsierenden Gleichstrom wird dann eine Telephonmembran bewegt oder ein Galvanometer betätigt.

Fig. 92.



Tonumformer.

Fig. 92 a.



Telefunken. Demonstrationsmodell für tönende Funken.

2. Niederfrequenz-Hochspannung.

Dem Induktor zugeführte Energie		1850
Verluste im Induktor	180 Watt	
Verluste in der Drossel	60 „	
		1610

3. Hochfrequenzenergie.

a) Dem Erregerkreis zugeführte Energie		1610
Verluste in der Funkenstrecke	155 Watt	
Verluste im Kondensator	63 „	
Verluste in der Selbstinduction	42 „	
		Restenergie 1350
b) Der Antenne zugeführte Energie		1350

Antennenstrom 13·5 Ampere

Antennenwiderstand (Schirmantenne) bei 1200 *m* Welle = 8·5 Ohm

J^2W = Schwingungsenergie in der Antenne 1350

4. Wirkungsgrad der Hochfrequenz-Transformation . $\frac{1350}{1610} = 84\%$

5. Wirkungsgrad des Niederfrequenz-Transformators . $\frac{1610}{1850} = 87\%$

6. Wirkungsgrad des Wechselstromgenerators . . . $\frac{1850}{2500} = 74\%$

7. Wirkungsgrad des Motors . . . . $\frac{2500}{2960} = 86\%$

8. Wirkungsgrad von Antennenenergie bis Gleichstromenergie . . . . $\frac{1350}{2950} = 46\%$

9. Wirkungsgrad von Antennenenergie bis Primär-Wechselstromenergie . . . . $\frac{1350}{1850} = 73\%$

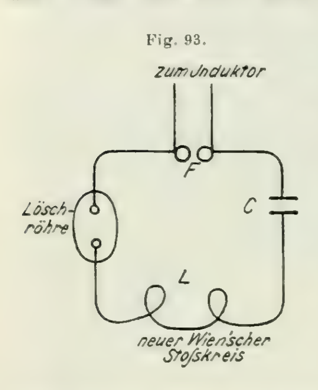
Im vorliegenden Falle sind allerdings als „Antennenenergie" die eigentliche Antennennutzleistung und die Antennenverlustleistung zusammen gemessen, während der Wirkungsgrad, wie er von *Fleming*[1]) aufgefaßt wird, sich auf die Antennennutzleistung allein bezieht. Die Scheidung dieser beiden Größen durch eine Messung ist bisher nicht möglich gewesen, da ein exaktes Meßverfahren hierfür nicht bekannt ist. Auf Grund gewisser Vermutungen dürfte der Wirkungsgrad einer guten Schiffsantenne, wenn sie etwa in der 1·3fachen Grundschwingung erregt wird, an 50% betragen. Der totale Wirkungsgrad zwischen Strahlung und Maschinenleistung wäre dann etwa 40%. Einwandfrei und heute verhältnismäßig sehr genau ist dagegen die Messung

[1]) Vgl. Electrician vom 24. XII. 1909. — Vgl. auch *W. H. Eccles* und *A. J. Makower,* Über den Wirkungsgrad der Löschfunkenmethode zur Erzeugung elektrischer Schwingungen. Jahrbuch. 4. 253. 1911 und Electrician vom 30. IX. 1910.

der Gesamtantennenenergie und dieser Angaben wird sich die Telefunken-Gesellschaft in Zukunft zur Bezeichnung der Senderleistungen bedienen.

Wien fand neuerdings[1]) noch einen Weg, auch unter Beibehaltung der großen Funkenstrecke durch Stoßerregung den Braunsender einwellig zu machen, und zwar durch zusätzliches Einschalten (Fig. 93) einer *Geissler*schen Röhre (zweckmäßig in Form wie die bekannten *Kohlrausch*schen Widerstandsgefäße) als „Löschwiderstand“ in den primären Stromkreis, und zwar entweder außerhalb der Zuleitungen zur Funkenstrecke oder innerhalb derselben, so daß die Löschröhre einen Zusatz zur Funkenstrecke bildete. Die kleineren Schwankungen des an sich niedrigen Entladungspotentials der Röhre kommen neben dem hohen Funkenpotential der Luftfunkenstrecke *F* nicht in Betracht, so daß man so im Stoßkreis beliebig hohe und dabei konstante Spannungen verwenden kann. Andrerseits bewirkt die ausgezeichnete Löschwirkung der *Geissler*schen Röhre, daß ein besserer Nutzeffekt bei engerer Kopplung erreicht wird und auch bei stark gedämpftem Schwingungskreis ohne besonderen Ballastwiderstand (der den Nutzeffekt wesentlich beeinträchtigen würde) reine Stoßerregung erzielt werden kann. Die Röhre soll zweckmäßig einen längeren Entladungsweg haben und ihr Querschnitt darf bei stärkeren Energieentladungen nicht zu eng sein, da ein eventuelles Erhitzen der Röhre den Nutzeffekt erheblich herabsetzt.

Fig. 93.



Bei dieser neuen Art der Stoßerregung liegen die Grenzen der anwendbaren Kopplungsgrade ziemlich weit auseinander, in welchem Bereich sich die auf den Empfänger übertragene Energie nur wenig ändert; bei zu enger Kopplung tritt ein Versagen der Löschwirkung ein, welche Grenze sich unter gegebenen Verhältnissen der Konstanten des Stromkreises und der Anzahl benutzter Röhren empirisch leicht feststellen läßt. Der Nutzeffekt bleibt in weiten Grenzen der Werte der Entladungsspannungen, Kapazität, Funkenzahl und Leistung im Schwingungskreis merklich der gleiche, da wegen des schnellen Abstoppens des Stoßkreises die bekannten Energieverluste nicht entstehen können.

Für kleine Stationen bis zu 1 KW dürfte sich diese Methode ebenfalls bald in die Praxis einführen.

Das von *M. Wien* angegebene Verfahren der Stoßerregung von Schwingungskreisen zum Zweck der Erzeugung schwach gedämpfter Wellen wird sowohl für praktische Verwendung wie auch insbesondere für Meßzwecke um so brauchbarer sein, je mehr man imstande ist, sich der sogenannten idealen Stoßerregung zu nähern. Je schneller das Erlöschen der Schwingung im Primärkreis erfolgt, um so enger kann man den Sekundärkreis

[1]) Vgl. Jahrbuch. **4.** 135. 1910.

koppeln und um so weniger braucht man auf eine genaue Abstimmung zwischen den beiden Kreisen bedacht zu sein. Bei den bisherigen Methoden der Stoßerregung mit Wechselstrom war nun die Hauptbedingung zum Herbeiführen einer guten Löschwirkung, daß die Elektroden der Funkenstrecke kräftig gekühlt wurden, so daß die in der Funkenstrecke befindlichen leitenden Metallteilchen möglichst schnell wieder kondensiert wurden. Entsprechend der so erzielten verhältnismäßig guten Löschwirkung kann man z. B. bei den nach diesem Prinzip arbeitenden Funkenstrecken der Telefunkengesellschaft Kopplungen von maximal 20%$_0$ erzielen, wie ich es schon vorher erwähnte.

Um noch eine bessere Löschwirkung zu erreichen, schlägt *Glatzel*[1]) ein Prinzip vor, welches darin besteht, daß man die Funken in einer Wasserstoffatmosphäre übergehen läßt und gleichzeitig die Temperatur der Elektroden so einstellt, daß die durch die Entladung gebildeten Metallteilchen sofort wieder niedergeschlagen werden, jedenfalls in Form von nichtleitenden Wasserstoffverbindungen. Bei richtiger Einregulierung aller Betriebsverhältnisse kann dann durch eine derartige chemische Bindung der Metallteilchen eine ausgezeichnete Löschwirkung erzielt und tatsächlich der ideale Stoß verwirklicht werden. Die Einregulierung der richtigen Elektrodentemperatur erfolgt dabei zweckmäßig in der Weise, daß man zum Aufladen des Schwingungskreises einen Wechselstromtransformator benutzt, bei welchem man durch Vorschaltung geeigneter Drosselspulen den gewünschten Kurzschlußstrom in der Sekundärwickelung, welcher als Heizstrom für die Elektroden der Funkenstrecke dient, einstellt. Eine künstliche Kühlung solcher Funkenstrecken ist dementsprechend auch nicht erforderlich, ja sie ist sogar schädlich, da hierdurch u. a. die Elektrodentemperatur auf einen zu niedrigen Wert herabgesetzt wird, bei welchem keine schnelle Bindung der Metallteilchen mehr erfolgt. Die auf diese Weise hervorgerufene Stoßerregung ist innerhalb weiter Grenzen von der Größe der Kapazität und Selbstinduktion im Stromkreis unabhängig, was für praktische Senderanordnungen u. a. wesentlich ins Gewicht fallen kann. Die bisher erreichten engsten Koppelungen betrugen 40—50%$_0$, ohne daß dabei die Nebenmaxima in der Resonanzkurve des dritten Kreises schon störend auftraten. Der Wirkungsgrad derartiger Funkenstrecken ist, wie vorläufige Messungen ergaben, mindestens ebenso gut wie der anderer Löschfunkenstrecken. Ebenso lassen sich auch sehr reine Töne mit einer solchen Anordnung erzielen. Äußerlich ist das Auftreten der richtigen Entladungsform in der Funkenstrecke dadurch charakterisiert, daß längs der Elektroden eine Art Gleit- beziehungsweise Glimmentladung auftritt. Mit Rücksicht hierauf ist auch die Form der Elektroden insofern von Bedeutung, als sie das Auftreten einer Gleitentladung begünstigen müssen. Dementsprechend eignen sich am besten Elektroden in Stiftform, während

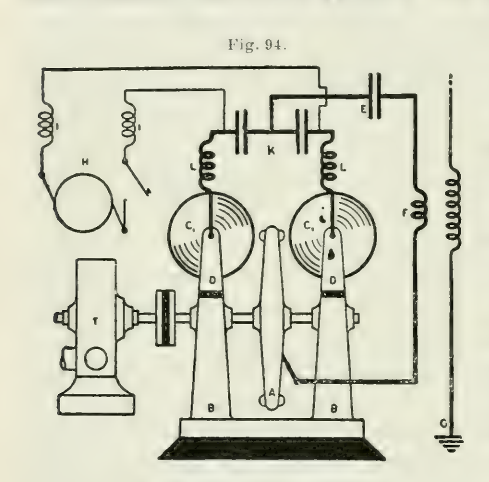
---

[1]) *Br. Glatzel,* Verh. D. Phys. Ges. **12**. 590 u. 830. 1910. Phys. Zeitschr. **11**. 886. 1910. Jahrbuch. **4**. 400. 1911.

einander gegenüberstehende ebene Platten die Ausbildung der Glimmentladung und damit reine Stoßerregung verhindern.

Ohne Zweifel ist schon vor *Wien* gelegentlich Stoßerregung [1]) angewendet worden, ohne daß dies jedoch beabsichtigt oder erkannt war, so z. B. von *Fessenden* in Amerika. Auch in den Anordnungen von *Marconi* gemäß Fig. 94, die er auf seinen transatlantischen Stationen anwendet, ist dies vielleicht der Fall. *Marconi* ladet den Kondensatorkreis mit Wechselstrom oder hochgespanntem Gleichstrom; der Entladungsfunke von 1 bis 2 *mm* Länge springt zwischen zwei Metallscheiben über, die mit aufgesetzten Höckern versehen sind. Die Scheiben rotieren gegeneinander mit einer Peripheriegeschwindigkeit von etwa 100 *m* pro Sekunde. In einer anderen Anordnung (gemäß Figur) bewegt sich zwischen den beiden in der Zeichenebene rotierenden Scheiben eine dritte in einer Ebene senkrecht zur ersteren, so daß zwei Funkenstrecken von je 1 *mm* entstehen. Zwischen diesen Funkenstrecken sind die Kondensatoren geschaltet. Wenn die Mittelscheibe nicht oder nur langsam rotiert, so treten in den kleinen Funken strecken sofort gewöhnliche Lichtbogen auf und die Schwingungen setzen aus; die rasche Rotation verhindert dies. Es ist anzunehmen, daß bei höheren Frequenzen *Marconis* Anordnung auch wesentlich wirkt, wie *Brauns* gekoppelte Systeme, so daß zwei Kopplungswellen entstehen; bei niederen Frequenzen (zirka 50.000 Schwingungen) jedoch scheint die sogenannte Löschwirkung mit Stoßerregung einzutreten.

Fig. 94.



Eine kritische Stellung nimmt das *Lepel*-System ein. *E. v. Lepel* ersetzte die *Poulsen*sche Bogenlampe durch eine sehr kurze Funkenstrecke. Der Funke spielt zwischen zwei ebenen Scheiben (eine aus Kohle, die andere oder auch beide aus eventuell mit innerer Wasserströmung gekühltem Metall), zwischen denen sich eine Papierscheibe [2]) (eventuell mit Kohlenwasserstoff getränkt) befindet. *Lepel* nahm anfangs an, daß er ein Mittelding zwischen Bogen und Funken erhalte; er steht jedenfalls heute auf dem Standpunkt, daß das neue Telefunkensystem gewisse Prioritätsansprüche von ihm verletze. Auf diese Streitigkeiten will ich nicht eintreten. Sachlich ist zu bemerken, daß auch im Lichtbogen Löschfunken als

---

[1]) Solche tritt stets auf bei richtiger Kopplung und bei einem Primärsystem von größerer Dämpfung als die des Sekundärsystems.

[2]) Auch ohne diese Papierscheibe sollen Resultate erzielt worden sein.

sogenannte Schwingungen dritter Art[1]) auftreten können. Das Entscheidende, ob Lichtbogen ob Löschfunken, wird in gegebenem Falle darin liegen, ob die Frequenz der Schwingungen im Sekundärsystem die des Sekundärsystems selbst ist oder die des Lichtbogenkreises; im ersteren Falle sind es Löschfunken.

Wenn wir nochmals kurz die Vorzüge des neuen Prinzips der „tönenden Funken" rekapitulieren wollen, so sind es hauptsächlich folgende: 1. Die Energie des Kondensator-(Stoß)kreises ist bis zu einem hohen Grade ausgenutzt. 2. Die Antenne gibt nur eine Schwingung von kleiner Dämpfung, daher vollkommenere Ausnutzung der Energie am Empfänger und scharfe Abstimmung. 3. Die Aufnahme mit dem Telephon gibt einen musikalischen klaren Ton und läßt die Stationszeichen von atmosphärischen Störungen derart scharf trennen, daß letztere nicht mehr stören. 4. Der Ton läßt sich variieren und im Empfänger durch Resonanzrelais verstärken. 5. Der neue vorher erwähnte Morseschreiber erlaubt eine hohe Telegraphiergeschwindigkeit. 6. Schließlich hat Telefunken eine auf dem Prinzip des Gleichrichters beruhende Anordnung ausbilden können, die wieder für Hörempfang den so wichtigen Anruf, der mit dem Kohärer verschwand, ermöglichte. *Braun* berichtet darüber wie folgt: In den Detektorkreis ist ein sehr empfindliches, aber sehr träges Drehspulgalvanometer eingeschaltet. Durch ein einzelnes Zeichen oder durch eine Anzahl solcher, stets wieder von Pausen unterbrochener, d. h. durch eine telegraphierende Station oder durch Gewitterstörungen kommt kein genügender Ausschlag zustande. Wird aber 10 Sekunden lang von einer Station ein ununterbrochener Strich gegeben, so macht der Zeiger des Instruments einen Ausschlag und gerät zwischen die Zähne eines sich fortwährend in einer Vertikalebene drehenden Rades; er wird jetzt von den Zähnen gepackt, mitgenommen und nach unten gedrückt. Dadurch wird ein Stromkreis mit Glocke geschlossen, welche so lange tönt, bis der Telegraphist durch einen Hebeldruck den Zeiger wieder frei macht und nun die Depesche mit dem Hörer aufnimmt.

Die theoretisch gegebene, leichte Tonvariation im neuen Telefunkensystem ist aber praktisch einigermaßen schwierig. Einen wirklichen Tonsender hat in neuerer Zeit *H. Rein*[2]) bei der *C. Lorenz* Aktiengesellschaft in Berlin ausgebildet durch eine interessante Kombination der *Wien*schen Stoßerregung mit einem *Duddell*schen Schwingungskreis, der bekanntlich

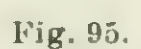
---

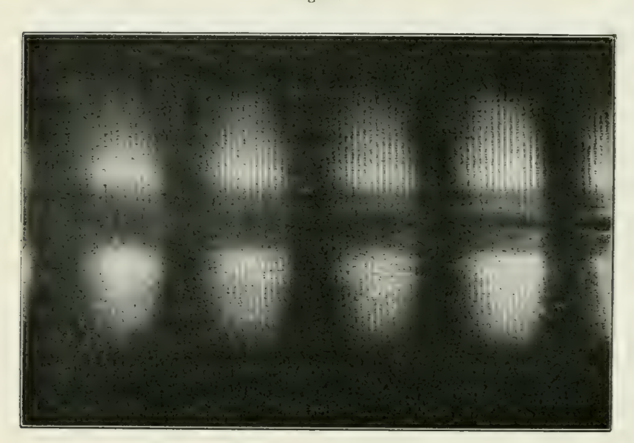
[1]) Vgl. Jahrbuch. 2. 557. 1909 und *H. Barkhausen*, Das Problem der Schwingungserzeugung. Leipzig 1907.

[2]) Auch hier werden von *Lepel* und *Burstyn* Prioritätsansprüche geltend gemacht; ich verweise auf den Briefwechsel der Parteien im Jahrbuch Band 4. Heft 3 und 4. 1911. Jedenfalls hat mir die Prüfung der Sachlage ergeben, daß die beschriebene Methode, Tonsignale drahtlos zu übermitteln, von *Rein* ganz selbständig erfunden, ausgearbeitet und auf seine Veranlassung von der *C. Lorenz* Aktiengesellschaft zum Patentschutz angemeldet wurde (vgl. D. R. P. a. L. 28.288 und 28.587). Die Festlegung sämtlicher elektrischer Größen, gestützt auf zahlreiche, im Laboratorium aufgenommenen Meßreihen, Entfernungsversuchen und photographischen Aufnahmen, von denen einige vorstehend reproduziert sind, sind das Ergebnis der *Rein*schen Arbeit.

die Grundlage des Poulsengenerators (vide folgenden Abschnitt) bildet. Ich habe im Jahrbuch nach einem Besuch auf der *Lorenz*schen Großstation Eberswalde bei Berlin und Besichtigung des *Rein*schen Tonsenders über denselben unter Zusammenfassung der historischen Tatsachen folgendes berichtet:

Poulsen hatte eine Anordnung angegeben, die nach seiner Methode erzeugten kontinuierlichen Schwingungen zu zerteilen und durch regelmäßige Schwingungsgruppen eine sehr schön und leicht regulierbare Tonwirkung im Empfänger zu erzielen. Da sich bisher indessen keine Unterbrechungsvorrichtungen finden, welche genügend große Lichtbogenenergien unterbrechen und schließen, und da die anderen Methoden, z. B. durch Kapazitäts- oder Selbstinduktionsvariation, wegen der möglichen geringen Veränderungen, gleichfalls für den praktischen Betrieb nicht in Betracht kommen, war die genannte *Poulsen*sche Anordnung nur für kleine Reichweiten anwendbar. Hierbei ist allerdings der Ton im Empfangstelephon nicht nur außerordentlich gut und frei von allen Nebengeräuschen, sondern auch sehr bequem variabel. Die gleichen Vorzüge besitzt die im Laboratorium der *C. Lorenz* Aktiengesellschaft ausgearbeitete Methode der Schwebungserregung, wobei je ein Lichtbogengenerator mit je einem Schwingungssystem zusammengeschaltet ist, welche beide gering gegeneinander verstimmt sind und zusammen auf einen gemeinsamen dritten Kreis (Antenne) arbeiten. Man erhält auf diese Weise Schwebungen, welche einen sehr guten und gleichfalls bequem regulierbaren Ton ergeben. Ein Oszillogramm dieser Schwebungen gibt Fig. 95.


Fig. 95.



Wegen der erzielten relativ geringen Reichweite wurden von der *C. Lorenz* Aktiengesellschaft zeitlich nacheinander folgende Gedanken ausgeführt:

1. Es wurde ein Lichtbogengeneratorkreis angewendet, wobei dem die kontinuierlichen Schwingungen erzeugenden Gleichstrom ein Wechselstrom überlagert wurde, derart, daß eine periodische Beeinflussung der erzeugten kontinuierlichen Schwingungen stattfand und eine Tonwirkung im Empfänger erzielt wurde.

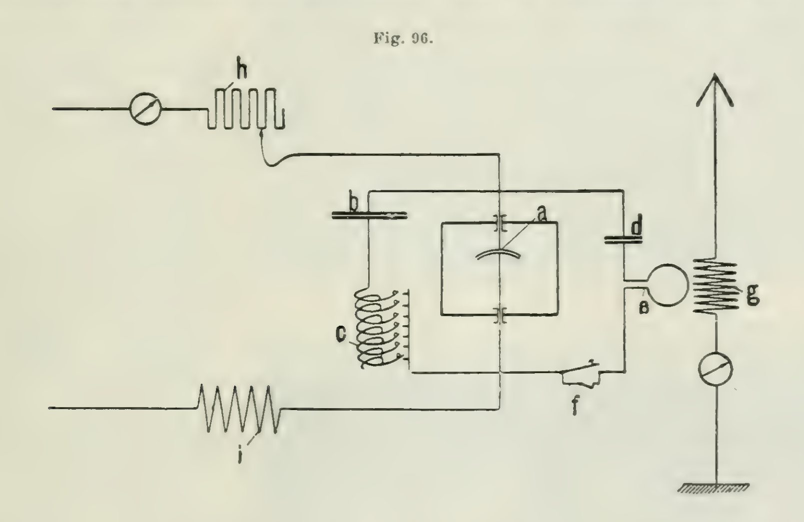
2. Unter Zugrundelegung des eben genannten Verfahrens wurde an Stelle des Lichtbogengenerators eine Metallentladestrecke, welche einen kleinen

Abstand zwischen den Elektroden besitzt, gesetzt. Insbesondere sollte hierbei der dem Gleichstrom überlagerte Wechselstrom von einer Hochfrequenzquelle erzeugt werden, wozu insbesondere ein *Duddell*scher Schwingungskreis in Betracht kommt. Es war auf diese Weise der Vorteil erzielt worden, eine Entladestrecke von etwas besserem Wirkungsgrad zu benutzen, als ihn ein gewöhnlicher Lichtbogengenerator besitzt und außerdem konnte durch beliebige Variation der Konstanten des Duddellkreises leicht eine Tonvariation erzielt werden.

Alle Messungen etc. wurden von *Rein*, der, wie gesagt, der Vater der Idee ist, durchgeführt.

Da unter Zugrundelegung von Gleichstrom zur Speisung der Entladestrecke die maximal zu erzeugende Energie beschränkt ist, auf der

Fig. 96.

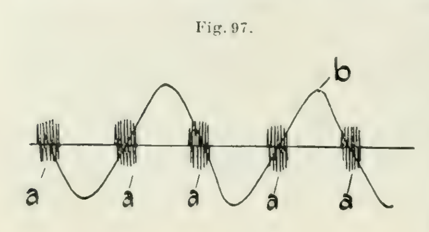


anderen Seite eine sehr leichte Tonvariation durch Variierung der Konstanten der elektrischen Elemente des Duddellkreises möglich ist, war die Anordnung für leichte tragbare und fahrbare Stationen prädestiniert. Die Ausarbeitung einer Sendertype für derartige Zwecke wurden von Herrn *Nesper* im Sommer 1910 fertig durchgeführt und zeigt an Hand des allgemeinen Schaltungsschemas (Fig. 96) folgende Merkmale:

a ist eine nach dem Vorschlage von *Scheller* hergestellte Entladestrecke, welche aus zwei nahezu kugelförmig gestalteten, in geringem Abstande voneinander eingestellten Elektrodenkörpern besteht. Die Elektrodenkörper können bequem gegeneinander verstellt werden, und es kann durch einen Spiritustropfapparat Spiritus zwischen die Entladungselektroden getropft werden, um, sofort verdampft, eine wasserstoffhaltige Atmosphäre zu liefern. Parallel zur Entladungsstrecke liegt der Duddellkreis, bestehend aus einem elektrisch großen Kondensator *b* und einer in einzelne Abschnitte unterteilten, mit dünnen Eisenblechen gefüllten Spule *c*. Die Unterteilungen

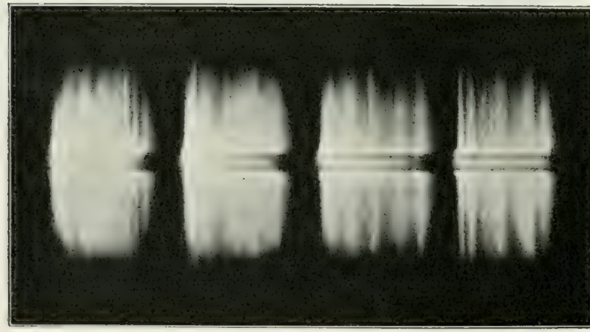
dieser Spule sind an einzelne Kontakte geführt und es können durch Betätigung dieser Kontakte, welche auch leicht feststellbar eingerichtet sind, entsprechende Selbstinduktionsbeträge der Spule und damit verschiedene Töne des Duddelkreises erzielt werden. Außerdem liegt zur Entladestrecke parallel der sogenannte Stoßkreis, welcher aus einem elektrisch kleineren Kondensator *d*, einigen Kupferdrahtwindungen *e* und einem Taster oder Kurzschließer *f* besteht. Letzterer ist mit der Antenne *g* gekoppelt. Durch Variation des Vorschaltwiderstandes *h* und eventuell Einregulierung der Drosselspule *i* kann das Brennen der Entladestrecke beeinflußt werden.

Fig. 97.



Durch die kleine Funkenstrecke fließen drei Ströme: erstens der Gleichstrom der Stromquelle, zweitens der Niederfrequenzstrom des Duddelltonkreises und drittens der Hochfrequenzstrom des Stoßkreises. Die beiden ersten vereinigen sich zu einem Wellenstrom, der den Leitungszustand der Entladestrecke periodisch verändert. Beim Höchstwert ihres Widerstandes setzen die zahlreichen Entladungen des Stoßkreises ein, die so in der Antenne eine rhythmische einwellige Strahlung veranlassen. In den Zeiten des Maximalwertes des Wellenstromes muß andrerseits die Kapazitätsentladung aussetzen. Der Effekt ist also der, daß die Entladungen des Stoßkreises nicht mehr willkürlich vor sich gehen, sondern durch den Entladungsvorgang des Duddellkreises gesteuert werden. Jedesmal wenn die Stromkurve *b*, in Fig. 97, der kontinuierlichen Schwingungen des Duddelkreises durch die Nullinie hindurchgeht, beziehungsweise schon vorher, setzt der Stoßkreis ein zu arbeiten und erzeugt eine Reihe von Entladungen, welche die Zahl von 5000—9000 haben können. Die Komplexe *a a* folgen sich sehr regelmäßig und ergeben ein tönendes Geräusch; je steiler die Kurve *b*, um so regelmäßiger setzt der Tonkreis ein (vgl. später drahtlose Telephonie mit gesteuerten Stoßsendern).

Fig. 98.



Die auf diese Weise gewonnenen Apparaturen sind außerordentlich leicht und in der Bedienung überaus einfach. Durch Betätigung der Kon-

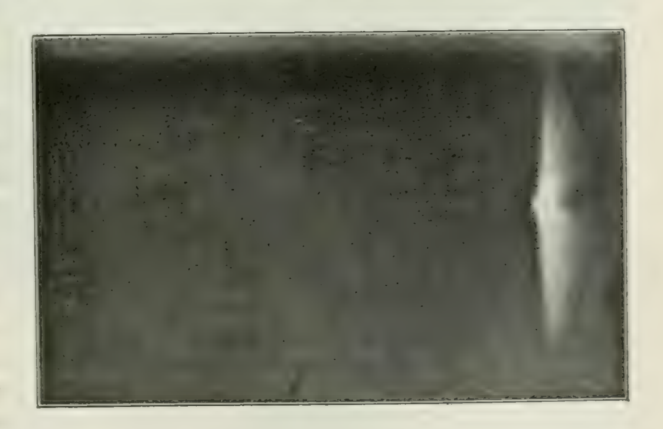
[1]) *W. Duddell,* The Electrician. **46**. S. 269 und 310. 1900.

takte der Spule *e* können ohne weiteres verschiedene Töne erzeugt werden, Hornsignale gegeben oder auch Melodien gespielt werden. Durch Betätigung des Tasters *f* können Morsezeichen bei den verschiedenen vorhandenen Tönen gegeben werden. Besonders angenehm gegenüber dem gewöhnlichen *Wien*schen Zischfunkensender ist hierbei der Umstand, daß die an der Entladestrecke liegende Spannung keineswegs kritisch ist, daß die Kopplung zwischen *e* und *g* innerhalb weiter Grenzen variabel ist und daß keine absolut scharfe Abstimmung zwischen dem Stoßkreis *a d e f a* und der Antenne *g* notwendig ist.



Fig. 99.





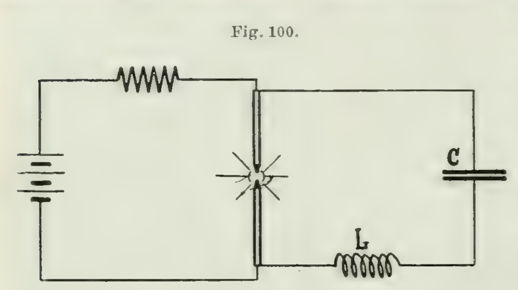
Ein Oszillographenbild der Funkenentladungen zeigt Fig. 98. Durch die dunklen Zwischenräume zwischen den einzelnen Entladungen geht der kontinuierliche Schwingungsvorgang des Duddelkreises hindurch. Die letzte Funkenschwingung eines solchen Komplexes sowie die auf die Pause folgende erste Schwingung ist in Fig. 99 in vergrößertem Maßstabe wiedergegeben.

Bei der Vorführung kamen nacheinander drei verschiedene Wellenlängen zur Anwendung. Die im Telephon abgehörten musikalischen Töne des Tonsenders waren in allen Fällen von großer Klarheit und Konstanz. Geradezu frappant wirkte die Übertragung von Hornsignalen, was besonders für militärische Anwendung des ausgezeichneten neuen Tonsenders von größter Bedeutung sein dürfte.

Ich wende mich nun zu den rein kontinuierlichen elektrischen Hochfrequenzschwingungen gleicher Amplitude (ungedämpft), deren Erzeugung von jeher das vorbildliche Problem in der Radiotelegraphie bildete. Wir werden später den Weg der Lösung desselben durch Wechselstromgeneratoren verfol-

gen und wenden uns zunächst zur Lichtbogenmethode. *Duddel*[1]) fand zunächst im Jahre 1899, daß in einem Schließungskreis mit Kapazität und Selbstinduktion, den man, wie es Fig. 100 zeigt, an einen Gleichstromlichtbogen zwischen Homogenkohlen anlegt, durch diesen unter gewissen Bedingungen dauernd kontinuierliche Schwingungen unterhalten werden. Der Lichtbogen vermittelt selbsttätig den Ersatz der im Schwingungskreise veranlaßten Energieverluste auf Kosten des Lichtbogenkreises, und man erhält so an Stelle von gedämpften Ladeschwingungen im Schwingungskreis anhaltend Schwingungen von stets gleichbleibender Amplitude. Man spricht deshalb auch von „ungedämpften" Schwingungen, was streng genommen ein falscher Ausdruck ist. Selbstredend entsteht auch hier im Schwingungskreis fortwährend Dämpfung durch gewöhnliche Energieverluste und durch Energieabgabe zu Zwecken der Strahlung, aber der Schwingungskreis wird durch die Vorgänge im Lichtbogen immer wieder aufs neue angeregt, analog wie die Echappementvorrichtung einer Uhr immer wieder das Pendel anstößt und einen Ersatz der durch Dämpfung verursachten Energieverluste besorgt. Hinsichtlich der Vorgänge selbst brauchte *Simon* (Göttingen), der sich durch gründliche analytische Untersuchungen der Anordnung sehr verdient gemacht hat, den treffenden Vergleich, daß die ganze Anordnung wirke wie eine von einem stetigen Luftstrom angeblasene Orgelpfeife. Die Luftlamelle, die gegen die Lippe der Pfeife strömt, hat dieselbe Funktion wie der Lichtbogen; sie leitet, und zwar im Rhythmus der Eigentöne der Pfeife, die Strömung bald in die Pfeife, bald daran vorbei. Die Trägheit der in der Orgelpfeife abgeschlossenen Luftmasse entspricht der Selbstinduktion; die Elastizität (bzw. ihr reziproker Wert) der Luftmasse ist das Analogon für die Kapazität.

Fig. 100.

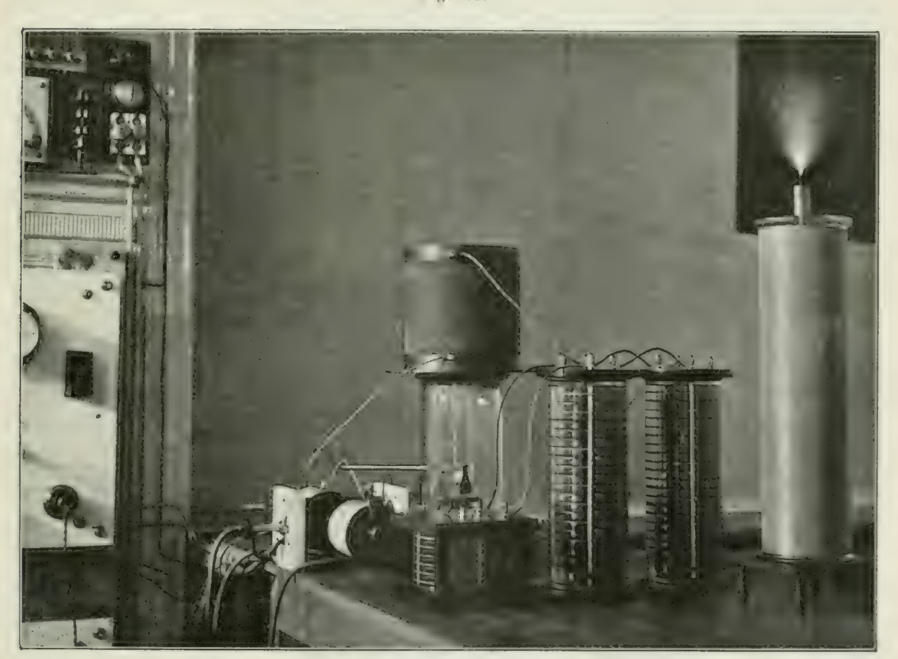


Die Bedingung für das Zustandekommen des Phänomens ist ein labiler Gleichgewichtszustand im Stromkreis des Lichtbogens und seiner Stromquelle. Der Lichtbogenwiderstand, d. h. der Quotient aus der momentanen Änderung der Spannung an den Bogenelektroden und der momentanen Änderung des Stromes, muß negativ und numerisch größer oder wenigstens gleich groß sein wie der *Ohm*sche Widerstand des Schwingungskreises.[1]) Auf Grund allgemeiner elektrodynamischer Erörterungen kann

[1]) Die sogenannte Stabilitätsbedingung $\frac{dv}{di} + w > o$ ist zuerst von *Kaufmann* (Ann. Phys. 2. 158. 1900) ermittelt worden; sie ist der Ausdruck für den Gleichgewichtszustand im Stromkreis des Lichtbogens und seiner Stromquelle; nur im labilen Gleichgewichtszustand $\frac{dv}{di} + w < o$ können die Schwingungen erregt werden.

man formulieren, daß jeder Leiter (nicht nur der Lichtbogen), der im Nebenschlußkreise Schwingungen unterhalten kann, mit zunehmendem Strom seinen Spannungsabfall verkleinert, mit abnehmendem vergrößert. Stellt man das Verhalten eines Leiters im Stromkreise durch seine „Charakteristik“ dar, d. h. durch die experimentell zu ermittelnde und graphisch darzustellende Abhängigkeit zwischen Klemmenspannung und Stromstärke, so läßt sich sagen, daß jeder Leiter mit fallender Charakteristik in einem parallel geschalteten Schwingungskreis dauernd Schwingungen unterhalten kann. Der Gleichstromlichtbogen hat eine fallende Charakteristik und den

Fig. 101.



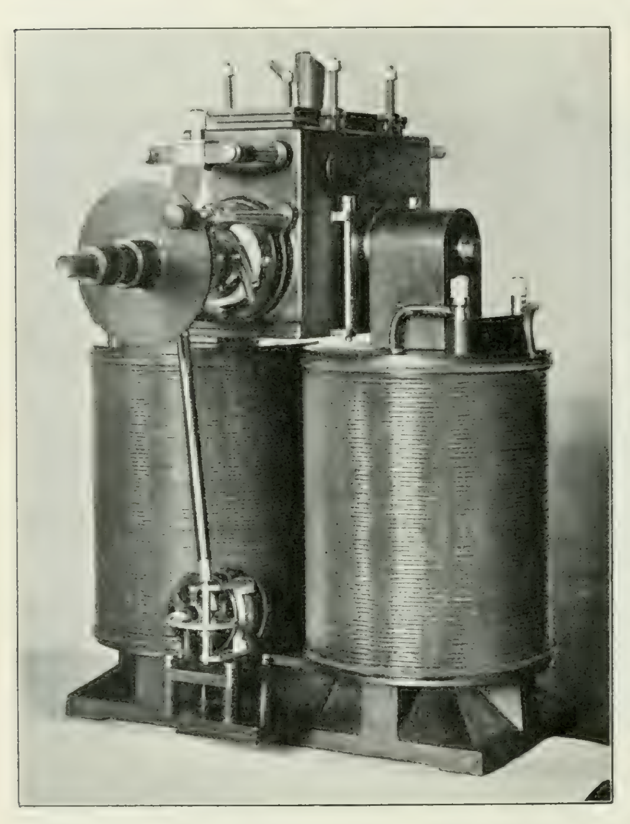
Poulsen-Generator.

eigentlichen Vorgang im Schwingungskreis hat man sich wie folgt vorzustellen:

Es fließt zunächst ein Strom vom Lichtbogenkreis in den Schwingungskreis, was auf eine Reduktion der Stromstärke im Lichtbogen hinzielt. Diese Reduktion des Stromes tendiert also jetzt eine Vergrößerung der Potentialdifferenz zwischen den Polen des Bogens und bewirkt ein gesteigertes Abfließen des Stromes in den Schwingungskreis, so daß man schließlich am Kondensator eine höhere Spannung hat als die normale Bogenspannung. Infolgedessen beginnt nun der Kondensator sich durch den Bogen zu entladen, was die Stromstärke im Bogen vergrößert und die Potentialdifferenz vermindert, so daß sich der Kondensator zu viel entladet und

das umgekehrte Spiel wieder einsetzt. Der Kondensator kann sich nicht auf eine normale Ladung bei einer gewissen Spannung aufladen, da eben die Potentialdifferenz an den Bogenpolen nicht konstant bleibt; in der Tat sinkt letztere, wenn der Kondensator entladen wird, und sie steigt, während der Kondensator sich ladet, woraus ein kontinuierliches Hin- und Herwallen des Stromes resultieren muß.

Fig. 102.



Poulsen-Generator.

Die Frequenz wird man natürlich durch die Konstanten L (Selbstinduktion) und C (Kapazität) des Schwingungskreises bestimmt erachten, und man sollte meinen, durch Verkleinern von L und C die Schwingungszahl n beliebig hinauftreiben zu können. Allein *Duddell* fand, daß bei

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 40000$$

schon die Grenze¹) ist; bei weiter verkleinerten L und C gibt es keine Schwingungen mehr, so daß man von einer bei der drahtlosen Telegraphie benötigten Frequenz von $n = 100000 - 1000000$ noch weit entfernt war. Es liegt dies offenbar daran, daß man bei höheren Frequenzen den Strom im Lichtbogen zu schnell wechselt, als daß ein Wachsen der Stromstärke noch eine Verminderung der Potentialdifferenz im Gefolge haben könnte. Wie experimentell ermittelt wurde, erfolgt bei hinreichend schnellem Wechsel das Anwachsen des Stromes und der Spannung im gleichen Sinne und proportional, so daß sich dann der Bogen wie ein gewöhnlicher Widerstand verhält. Weiter wurde gefunden, daß die Frequenz auch noch von anderen

¹) *Wertheim-Salomonson* gelang es, Schwingungen von der Frequenz 400000/sec mit dem Duddellkreis zu erhalten, wenn ihm fast keine Energie entzogen wurde.

Faktoren abhängt, nämlich ceteris paribus wächst mit abnehmender Bogenlänge und zunehmender Betriebsstromstärke. — Die Intensität der Schwingungen erwies sich ferner als sehr gering.

Diese Übelstände wurden dann (D. R.-P. aus dem Jahre 1903) beseitigt durch eine Entdeckung des dänischen Ingenieurs *Valdemar Poulsen* (dem Erfinder des ingeniösen magnetischen Telegraphons), welcher fand, daß eine bedeutende Steigerung der Frequenz und Intensität der Schwingungen dadurch erreicht wird, daß man den Lichtbogen nicht in Luft, sondern in Wasserstoff oder einer Wasserstoff enthaltenden Atmosphäre

Fig. 103.



Poulsen-Station in San Francisco.

(z. B. Leuchtgas) brennen läßt; im gleichen Sinne wirkte auch ein zum Lichtbogen transversales Magnetfeld, wie es früher *Elihu Thomsen* zu anderen Zwecken verwendet hatte.

Fig. 101 zeigt den Poulsengenerator und seine Verwendung zu dem bekannten Versuch der Erregung einer Resonanzspule (die die Stelle des Luftdrahtes vertritt). Links steht das durch die weißen Marmorplatten luftdicht abgeschlossene Gehäuse, in dem der Lichtbogen zwischen Kupfer-Kohle-Elektroden in Kohlenwasserstoff [1]) brennt; die Kupferanode kann

[1]) Bei fahrbaren Militärstationen wird Spiritus eingetropft; *Poulsen* selbst zieht in solchen Fällen Naphta vor, das in geringen Mengen in die Lichtbogenkammer direkt hineingegossen wird.

durch Wasser gekühlt werden. Seitlich am Gehäuse sind die Elektromagnete zur Erregung des transversalen Magnetfeldes sichtbar, das so orientiert sein soll, daß der Lichtbogen nach oben geblasen wird. Die hoch gestellte breite Spule und die drei Kondensatoren, von denen der niedrige Kondensator variabel ist, bilden den Schwingungskreis. Die Kohleelektrode läßt man langsam rotieren, was praktisch notwendig für die Regelmäßigkeit der Schwingungen ist; der zugehörige Motor ist in Fig. 102 eines modernen Generatortyps sichtbar.

Fig. 103 zeigt das Äußere[1]) einer Poulsengroßstation in San Francisco, die auch speziell für den Verkehr durch drahtlose Telephonie (vide

Fig. 103 *a*.



Aufrichtung eines 100 *m* hohen Mastes.

weiter unten) mit der Station Los Angelos (Entfernung 550 *km*) eingerichtet ist.

Im Empfänger ist ein neuer Bestandteil, der *Poulsen*sche „Tikker", den Fig. 104 zeigt.

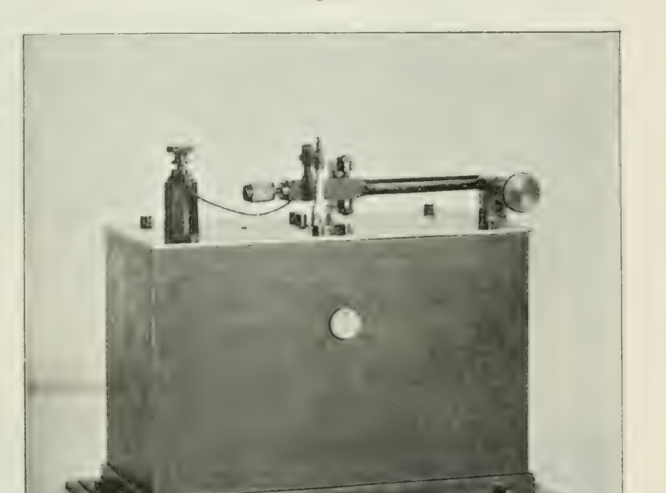
---

[1]) In der Regel werden die Großmaste nach einem patentierten Verfahren hergestellt; man montiert sie in wenigen Tagen auf ein Gerüst und richtet sie dann in einigen Stunden vermittelst eines Hilfsmastes, siehe Fig. 103 *a*, auf.

Poulsens Antennen haben in der Regel große Strahlungsdämpfung, da das große Strahlungsvermögen der Antenne die geringe (im Vergleich mit den gedämpften Schwingungen) Größe der Stromamplitude kompensieren soll.

Es ist dies eine Unterbrechervorrichtung, die zwei Funktionen hat: erstens hält sie den Empfangskreis eine gewisse, natürlich sehr kleine Zeit, geschlossen, so daß die Amplitude der Schwingungen auf ein Maximum gebracht wird, ehe solche auf den Detektor einwirken; zweitens teilt sie die kontinuierlichen Schwingungen in Gruppen von solcher Frequenz ab, daß im Telephonempfänger ein hörbarer Ton entstehen kann. Der Tikker nützt also die Eigenschaften der ungedämpften Schwingungen in sehr vollkommener Weise aus, indem er durch sie den Kondensator eines geschlossenen, sehr schwach gedämpften Resonanzkreises oszillatorisch auflädet. Die im Kondensator angesammelte Elektrizitätsmenge läßt er sich nun plötzlich in einen zweiten großen Kondensator entladen, dem ein Telephon parallel geschaltet ist; dann wird im letzteren die während der Resonanzzeit angesammelte Energie ausgenutzt, während zur Zeit des Ansammelns selber der Hörkreis nicht stört.

Fig. 104.



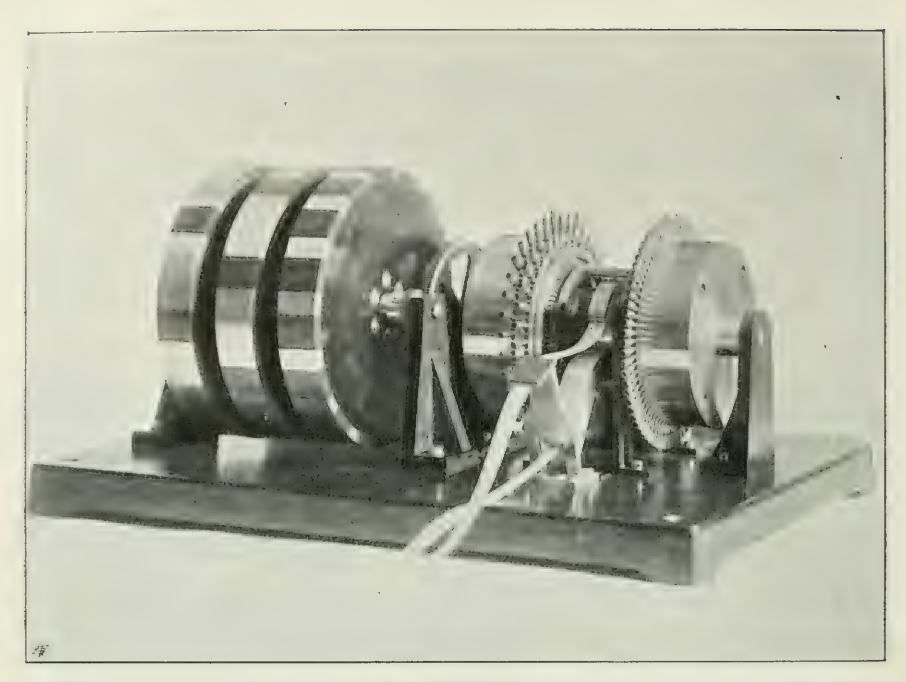
Der Poulsen-Tikker.

Mit den kontinuierlichen Schwingungen gelang ferner die Ausbildung einer hohen Telegraphiergeschwindigkeit. Für gewöhnliche Telegraphie existieren, wie bekannt, eine Anzahl verschiedener, automatischer Sender, welche eine Telegraphiergeschwindigkeit zulassen, die viele Male größer ist als die, welche bei der Handtelegraphie zu erzielen ist.

Einer dieser bekannten Sender kann jedoch nicht ohne weiteres bei der Radiotelegraphie zur Anwendung gelangen, denn während bei der gewöhnlichen Telegraphie nur mit Strömen von einigen Milliamperes und mit geringer Spannung gearbeitet wird, soll der Sender für drahtlose Telegraphie mit bis zu 50 Amperes oder darüber arbeiten können.

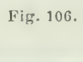
Die Zerlegung dieser Ströme in Morsezeichen — Striche und Punkte — erfordert sehr kräftige Kontakte, da die Lichtbogenbildungen sie sonst in sehr kurzer Zeit zerstören. Da aber das automatische Geben in der Regel nur zur Anwendung gebracht wird, um die Telegraphiergeschwindigkeit zu erhöhen, so ist man von der Möglichkeit abgeschnitten, in die bewegten

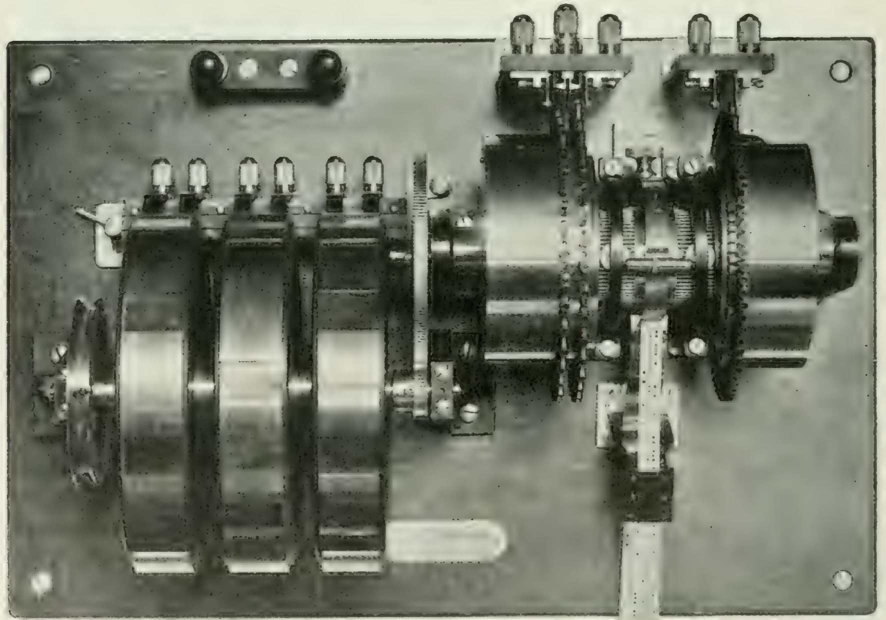
Fig. 105.



Schnelltelegraph nach *Pedersen.*

Fig. 106.



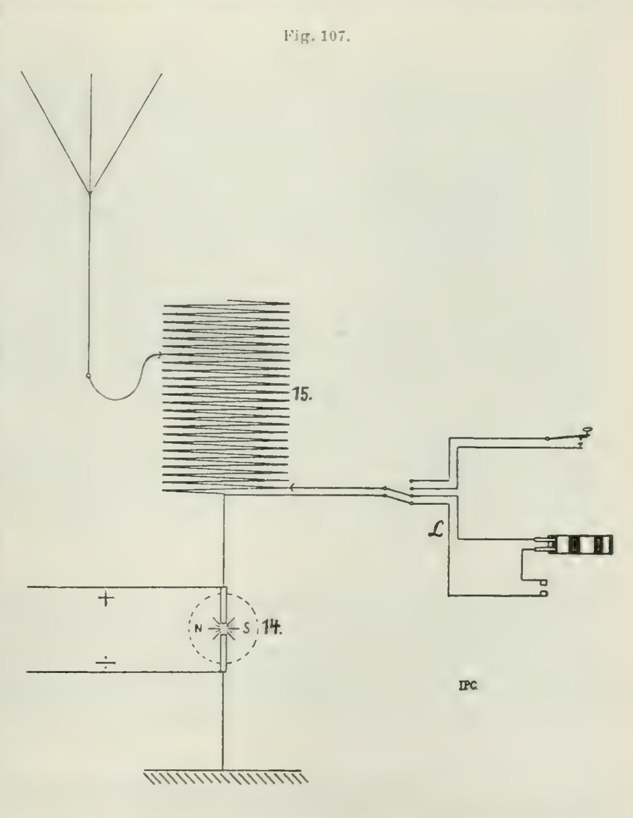


Schnelltelegraph nach *Pedersen.*

Kontaktteile große Metallmassen einzubauen, da Schließen und Unterbrechen des Kontaktes binnen sehr kurzer Zeit geschehen sollen, während gleichzeitig die Bewegungen der Kontaktteile infolge der hohen Spannungen ziemlich groß sein müssen.

P. O. Pedersen, der wissenschaftliche Mitarbeiter von *Poulsen*, hat nun einen automatischen Sender für drahtlose Telegraphie konstruiert, durch welchen diese Schwierigkeiten überwunden sind. Statt eines Kontaktsatzes werden zwei in Serie geschaltete angewandt, wovon der eine, schwächere, durch einen durchlochten Papierstreifen dirigiert, die Reihenfolge der Telegraphenzeichen ordnet, während der Kreis offen und stromlos ist, wonach der andere Kontaktsatz, welcher aus kräftigen Kommutatorscheiben besteht, die Bogenbildung vertragen können, den Strom schließt und unterbricht. Fig. 105 und 106 sind photographische Wiedergaben des Apparates von vorn und von oben gesehen. Wegen der Details muß ich auf die Beschreibung im Jahrbuch H. 5, 1911 verweisen.

Fig. 107.

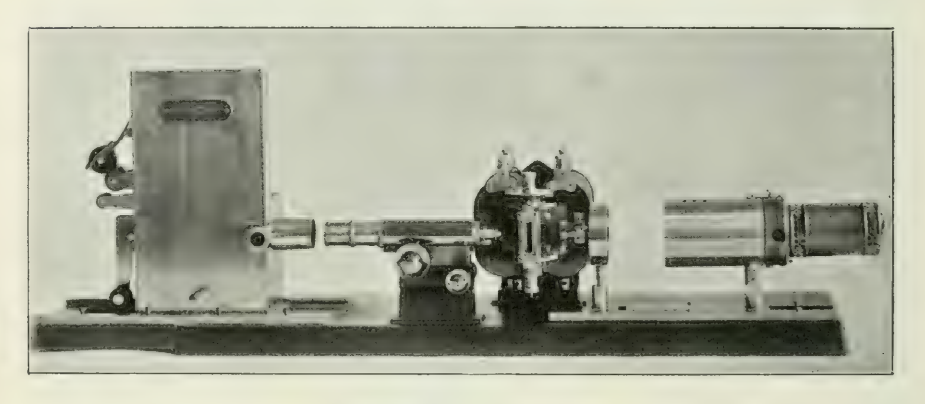


Der Geber wird in den Hochfrequenzkreis eingeschaltet, wie in Fig. 107 gezeigt. Wie man sieht, wird Transformation nicht angewandt. Die eine Elektrode im Hochfrequenzgenerator *14* ist direkt mit der Erde verbunden, die andere durch die Selbstinduktionsspule *15* direkt mit dem Luftdraht. Die Zeichengebung entsteht dadurch, daß der Sender während der Dauer der Zeichen mittelst der Leitungen *L* einen sehr kleinen Teil der Selbstinduktionsspule kurzschließt und dadurch eine kürzere Welle hervorbringt, auf welche die Empfangsstation abgestimmt ist. Eine Abweichung zwischen den zwei Wellen von $^1/_2$ % hat sich in der Praxis als vollkommen ausreichend erwiesen, um schöne, wohldefinierte Zeichen im Empfänger zu erzielen.

Als Empfänger wird der photographische Lichtschreiber Fig. 108 in Verbindung mit einem Krystalldetektor benutzt. Der Lichtschreiber ist

nach dem bekannten Prinzip des *Einthoven*schen Galvanometers eingerichtet. Fig. 109 gibt eine Probe der photographischen Morseschrift bei gewöhnlicher Telegraphiergeschwindigkeit, Fig. 110 eine solche des Schnelltelegraphen. Diese Morseschrift kommt also dadurch zustande, daß hinter einem zur Richtung der Saite des Galvanometers senkrechten engen Spalt die Ablenkungen der Saite auf dem fortlaufenden lichtempfindlichen Morsestreifen photographisch fixiert werden. Die ankommenden elek-

Fig. 108.

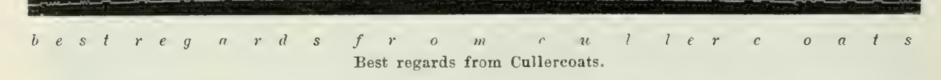


Photographischer Lichtschreiber.

trischen Schwingungen werden durch die Detektorzelle gleichgerichtet und betätigen das Galvanometer. Die letztere Telegrammprobe stammt aus den Versuchen über 1500 *km* zwischen Knockroe (an der Westküste Irlands) und Lyngby (Dänemark) bei einer Telegraphiergeschwindigkeit von über 100 Worten pro Minute; der bisherige höchste Rekord ist 300 Worte pro Minute.

Die eben erwähnte Abstimmschärfe in dauerndem Betrieb beweist, daß heute der Poulsengenerator eine für die Praxis durchaus genügende

Fig. 109.



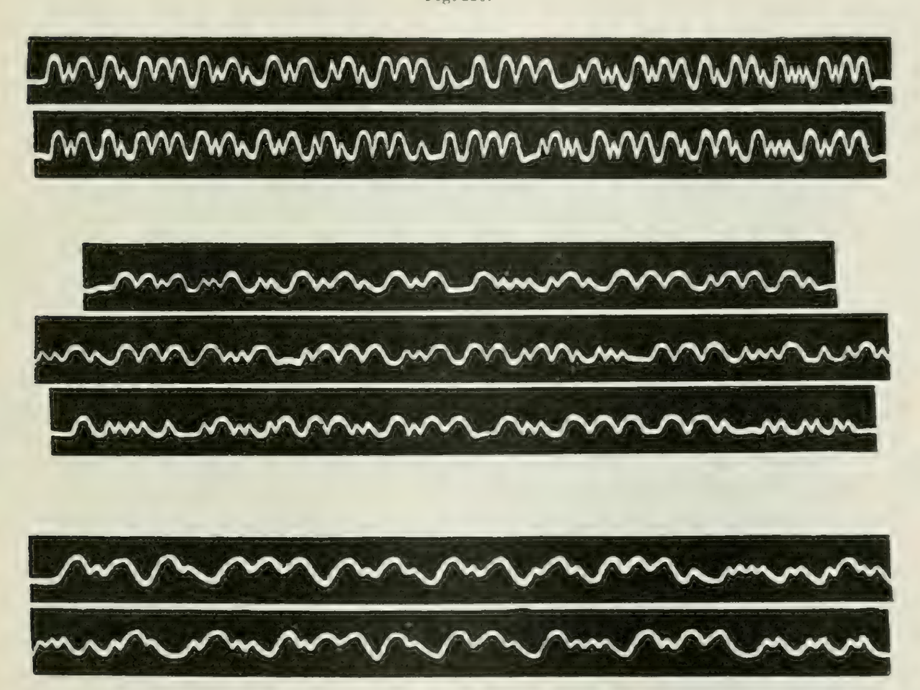
b e s t r e g a r d s f r o m c u l l e r c o a t s

Best regards from Cullercoats.

Stabilität und Konstanz besitzt. Im Anfang war dies ein wunder Punkt des Poulsensystems. Die Schwingungszahl variiert mit der Lichtbogenlänge des Generators; hat man infolge der Kontinuität der Schwingungen praktisch eine Abstimmschärfe bis auf etwa 0·2% der Schwingungszahl erreicht, so muß dieser Vorteil natürlich illusorisch werden, wenn eine ebenso große Änderung der Schwingungszahl eintritt entweder während des Brennens der Lampe von selber oder durch An- und Abschaltung der Antenne. Heute macht man vor allem die Arbeitsbedingungen dadurch stets gleichbleibend,

daß man abwechselnd (beim Senden) die strahlende Antenne und (beim Nichtsenden) einen gleichwertigen, aber nichtstrahlenden Kondensatorkreis anlegt. Die technische Druckkonstruktion hat den anderen Übelstand im wesentlichen beseitigt, zumal heute mittelst einer rotierenden Geisslerröhre mit Frequenzmesser die Schwingungen dauernd kontrolliert und eventuell nachreguliert werden. — Ein Nachteil des Poulsensystems bleibt sein relativ geringer „Wirkungsgrad". Nur ein Teil der von der Maschine gelieferten Gleichstromenergie kann für die Unterhaltung der Schwingungen nutzbar gemacht werden; ferner darf dem Schwingungskreis nicht zuviel Energie

Fig. 110.



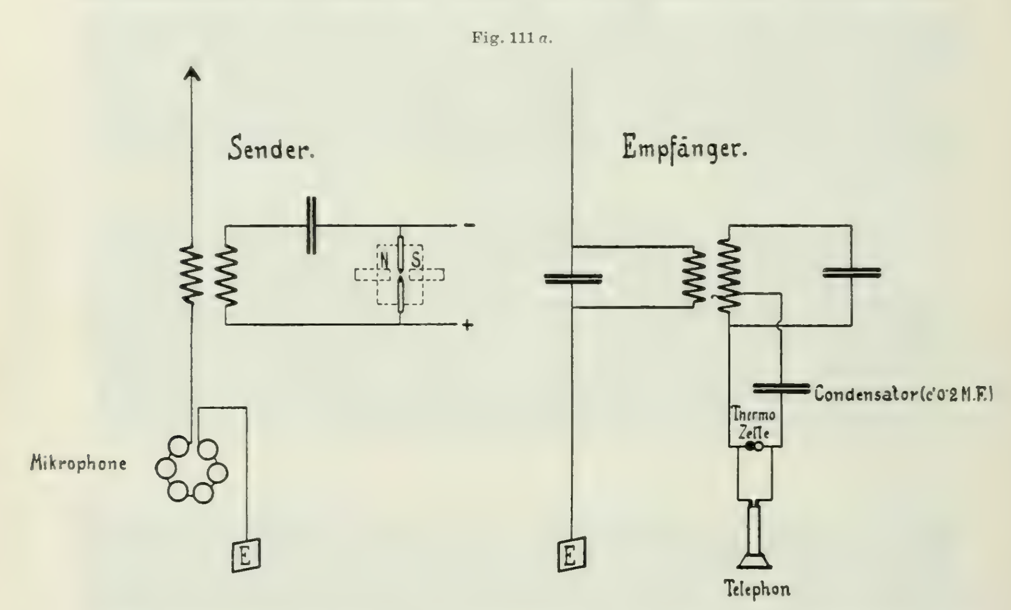
Morsezeichen des Schnell-Telegraphen.

für nutzbare Strahlung entzogen werden, da erfahrungsgemäß bei ungedämpften Schwingungen nach der Lichtbogenmethode die Regelmäßigkeit der Schwingungen um so größer ist, wenn der entzogene Prozentsatz Energie relativ klein bleibt. Um die pro Periode umgesetzte Energie im Verhältnis zu der pro Periode verbrauchten möglichst groß zu machen, wird meistens eine besondere Schaltung angewandt, die von *W. Hahnemann* und *O. Scheller* herrührende sogenannte „Schwungradschaltung".[1]) In der

[1]) Infolge Wegfalls der Pausen beim Poulsengenerator (gegenüber dem Braunsender) ist es aber möglich, in der gleichen Zeit wesentlich mehr Energie auszusenden und so die Antenne besser auszunutzen, d. h. es genügen bei derselben Aufladespan-

Radiotelegraphie spielt aber natürlich der Wirkungsgrad keine so wichtige Rolle wie sonst in der Elektrotechnik. — Ein großer Vorzug der kontinuierlichen Schwingungen des Poulsensystems ist, daß sie zum erstenmal auch eine drahtlose Telephonie ermöglicht haben. Frühere dahingehende Versuche konnten nicht zu einem befriedigenden Resultat führen, solange man in der gewöhnlichen Weise mit gedämpften Schwingungen arbeitete, wobei die einzelnen Wellenzüge in großen Zwischenräumen aufeinander folgten. Sobald es aber gelungen war, mit der Lichtbogenmethode einen stets gleichen Schwingungszustand im Luftleiter dauernd aufrechtzuerhalten, mußte es natürlich möglich sein, nach demselben Prinzip, auf dem die allbekannte Lichttelephonie beruht, die kontinuierlichen Schwingungen

Fig. 111 a.



durch die menschliche Sprache zu beeinflussen. In der Tat verfuhr man anfangs streng analog. Man verwendete eine Schaltung wie für die bekannte sprechende Bogenlampe, d. h. in die Leitung des Gleichstromes, der die Bogenlampe betätigt, wird die primäre Wicklung einer Induktionsspule geschaltet, deren sekundäre Wicklung mit einer Batterie und einem Mikrophon einen Mikrophonkreis bildet. Der Lichtbogen wird in dieser Weise durch die Mikrophonströme beeinflußt, entsprechend auch die Stärke der Ströme im Schwingungskreis und dadurch schließlich die durch den Luftdraht bewirkte Ausstrahlung. Im Empfänger benutzt man an Stelle der Selenzelle der Lichttelephonie Detektoren, die auf Strahlungsschwankungen mit korrespondierenden Stromschwankungen im Detektorkreis re-

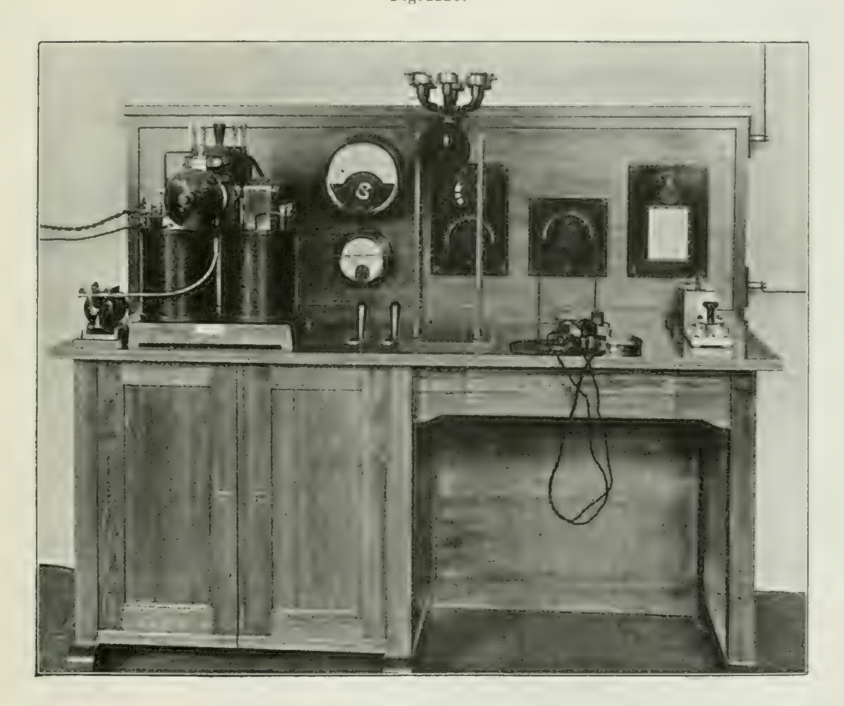
---

nung für gleiche Reichweiten, wie bei der Funkenmethode, bei der Lichtbogenmethode kleinere Antennen.

agieren; letztere setzen sich dann wie bei der gewöhnlichen Drahttelephonie wieder in die Sprachlaute um.

In den modernen Anordnungen verfährt man etwas anders. Fig. 111 *a* und Fig. 111 *b* zeigen Schaltung und Apparatur für drahtlose Telephonie an der Poulsenstation Lyngby, die nach vorher Gesagtem ohne weiteres verständlich sein werden. Von den drei Empfängerkästen (rechts in der Figur) enthält einer die primäre und sekundäre Spule des Empfängerkreises und kann man durch Verdrehung der Spulen gegeneinander jeden beliebigen Kopplungsgrad erzielen, was bei dieser Schaltung von Bedeutung ist. Die

Fig. 111 *b*.

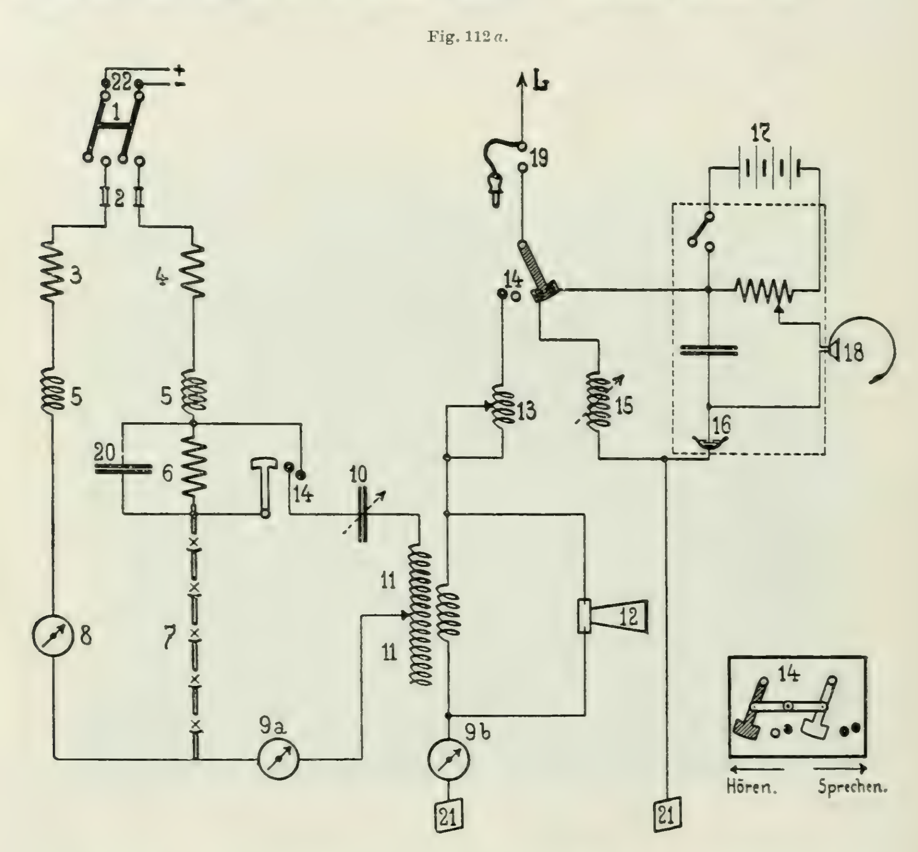


Poulsen-Station Lyngby für drahtlose Telephonie.

Mikrophone im Sender werden direkt in den Luftdraht geschaltet. Für die Stärke des Tons im Empfängertelephon kommt es auf die prozentische Änderung an, welche die Amplitude der ausgesandten Wellen durch die Wirkung des Mikrophons erleidet. Der Vorteil mehrerer hintereinander geschalteter Mikrophone, wie es *Poulsen* tut, ist der, daß bei derselben Tonstärke die prozentische Änderung, welche die Gesamtdämpfung des Luftleiters und damit die Amplitude der Schwingungen infolge der Widerstandsänderung in den Mikrophonen erleidet, größer wird als bei der Verwendung eines einzigen Mikrophons. Durch die schwankende Strahlungsamplitude des Senders entstehen im Kreis der Thermozelle (Detektor) des

Empfängers zunächst Widerstandsschwankungen, die proportional den Widerstandsschwankungen der Sendermikrophone sind, und die so resultierenden charakteristischen Stromschwankungen reproduzieren dann im Telephon die ursprünglichen Sprachlaute, denn man bekommt im Telephon einen Strom derselben Periode, mit der die Amplitude der Senderschwingungen zu- und abnimmt, d. h. einen Strom derjenigen Periode, welchen der in das Mikrophon des Senders hineingesprochene Ton besitzt.

Fig. 112 *a*.



Die Telefunkengesellschaft verwendet für Radiotelephonie im Sender eine Anzahl von in Reihe geschalteter Lichtbögen in gewöhnlicher Luft (Fig. 112 *a* und Fig. 112 *b*).

Der kleine, aus jedem Teilbogen wegzuschaffende Wärmebetrag wird nach Vorschlägen von *H. Th. Simon* durch unsymmetrische Elektrodengestaltung abgeleitet, indem die eine Elektrode aus Kohle besteht, während die andere als wassergekühlte Metallelektrode ausgebildet ist. Es werden immer Gruppen von 10, 20 und mehr Lampen als Ganzes reguliert. Je mehr Energie zum Aussenden gebracht werden soll, um so mehr Lampen werden in Reihe geschaltet. Bei 24 Lampen werden etwa 6 KW Gleich-

stromenergie zur Schwingungserzeugung aufgewendet, von welcher etwa 10% für Strahlungszwecke in Form ungedämpfter Schwingungen nutzbar gemacht werden. Durch die Lichtbogenmethode lassen sich verschiedenartige Schwingungen erzeugen. Wählt man als Schwingungskreis einen normalen Kreis der Funkentelegraphie, d. h. mit großer Kapazität und kleiner Selbstinduktion, so erhält man zwar kontinuierliche Schwingungen, aber von variabler Periode. Hat der Erregerkreis genügend große Selbstinduktion bei kleiner Kapazität, so erweist sich die Periode konstant, aber die Schwingungen sind nicht kontinuierlich, wie man sich durch Benutzung eines rotierenden Spiegels direkt überzeugen kann, oder auch an der Empfangsstation im Telephon, in welchem man dann ein unregelmäßiges starkes Rauschen hört, hervorgerufen durch das zeitweise Aussetzen der Schwingungen.

Fig. 112 *b*.



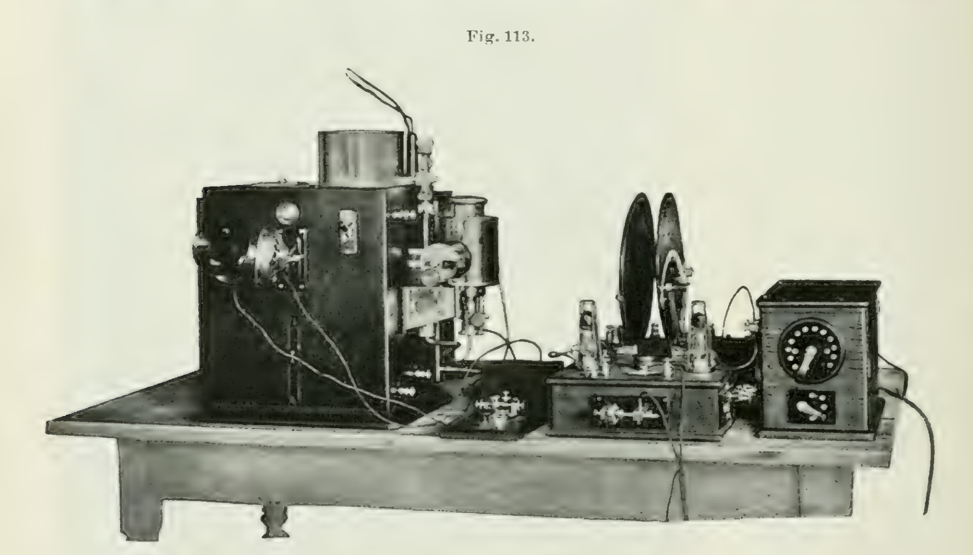
Telefunken-Station für drahtlose Telephonie.

Die Frage, welches ist die maximale Energie, die man in kontinuierliche Schwingungen konstanter Periode umsetzen kann, ist bisher nur empirisch von Fall zu Fall untersucht worden und harrt noch der allgemeinen Beantwortung.

Der praktische Telephonbetrieb bei Telefunken gestaltet sich so, daß der Lamprenkreis während des Sprechens dauernd kontinuierliche Schwin-

gungen erzeugt. Die Kopplungswindungen des Luftdrahtes nehmen hiervon einen bestimmten Energiebetrag auf und dieser geht während des Sprechens abwechselnd in das Mikrophon und die Antenne. Je kleiner der Widerstand des Mikrophons ist, um so kleiner wird die Amplitude der Schwingungen in der Antenne. Telefunken fand, daß es nicht günstig ist, den Detektor (meistens Thermozelle) in einen besonderen Empfangskreis einzuschalten. Die Sprachreproduktion erklang dann nämlich verzerrt, was in einer Deformation der Schwingungsform, welche teilweise durch Resonanzerscheinungen und teilweise durch Periodenschwankungen verursacht sein kann, begründet sein mag. Der Detektor wird deshalb unmittelbar mit der Antenne verbunden bzw. in einen Nebenschluß zu einer Spule gelegt, die einen Teil der Antenne ausmacht, wodurch eine wesentliche Stei-

Fig. 113.



Drahtlose Telephonie nach *De Forest.*

gerung der Deutlichkeit der Sprachübertragung erzielt wurde, da eine Resonanzwirkung wegen der verhältnismäßig starken Dämpfung der Antenne nur sehr wenig hervortreten kann. Die vergrößerte Dämpfung ist natürlich der Abstimmungsfähigkeit ungünstig.

In der nächsten Fig. 113 seien noch die Anordnungen von *Lee de Forest* vorgeführt. Der Lichtbogen des Sendergenerators brennt in einer Spiritusflamme, was auf dasselbe hinausläuft wie die Benutzung einer Wasserstoffatmosphäre, da Spiritus einen hohen Gehalt an Wasserstoff besitzt. Im Empfänger kommt als Detektor der sogenannte Andiondetektor zur Anwendung, der eine leichte Abänderung des Schwingungsventils von *Fleming* darstellt (vgl. Jahrbuch. 1. 95/99. 1908); seine Wirkungsweise basiert gleichfalls auf dem Eintritt von Widerstandsschwankungen unter dem Einfluß der Strahlungsschwankungen.

Andere Modifikationen des Poulsengenerators in mehr oder weniger origineller Form und teils mit eigenartiger Schaltung für Zwecke der Radiotelephonie sind auch die Systeme von *Colin* und *Jeance*, von *A. F. Collins*, von *F. Jacoviello* u. a., auf die ich nicht näher eintreten will. In weniger vollkommener Weise als mit der Lichtbogenmethode läßt sich die Radiotelephonie auch mittelst ungesteuerter oder gesteuerter (vgl. S. 170 ff.) Kreise hoher Entladungszahl erzielen [1]), mit zwei Anwendungsmöglichkeiten. Die erste besteht darin, daß bei einer Entladungszahl von ca. 5000 pro Sek. stets im Empfangstelephon eine Tonwirkung vorhanden ist, über welche die übertragenen Laute gelagert werden (ähnlich wie das Geräusch beim Grammophon). Die zweite Möglichkeit besteht in der Steigerung der Entladungszahl bis zu der unternen Grenze, daß die Gehörnerven überhaupt nicht mehr die Empfindung eines Tones haben. Entladungszahlen von 7000 pro Sek. aufwärts kommen hierfür schon in Betracht. In beiden Fällen ist aber die Regelmäßigkeit der Funkenfolge fast wichtiger als die Höhe der Entladungszahl. Alle Mittel, welche geeignet sind, die Entladungsübergänge regelmäßig zu gestalten, sind gleichzeitig für die Radiotelephonie sehr günstig. Deshalb ist hierfür beispielsweise der gesteuerte *Rein*sche Tonsender, der früher beschrieben wurde, besonders geeignet. Es wurde früher erwähnt, daß der Tonkreis um so regelmäßiger einsetzt, je steiler bis zu einem gewissen Grade die Duddellstromkurve ist. Alle Mittel, welche ein entsprechend steiles Abfallen der Stromkurve zur Folge haben, also auch geringe Dämpfung des Stoßkreises, sind daher für die Radiotelephonie mit dieser Anordnung günstig.

Schließlich wird die Radiotelephonie natürlich auch mit den Hochfrequenzmaschinen ausgeübt, deren jüngste Entwicklung weiter unten behandelt werden soll.

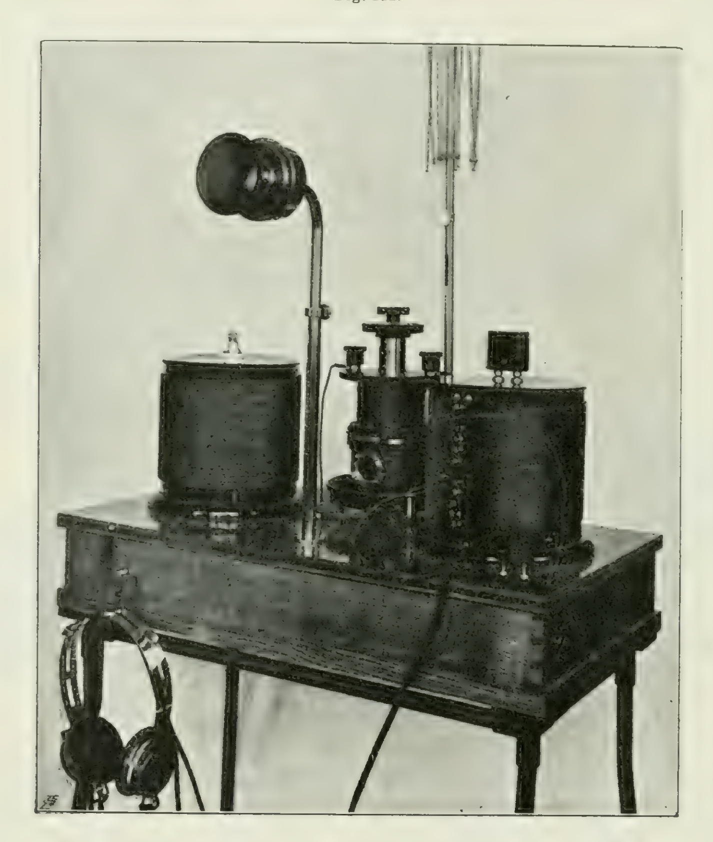
Um das Studium der Radiotelephonie zu fördern, sind von *Erich F. Huth* vielseitig brauchbare Demonstrationsapparate gemäß Fig. 114 (Station für gegenseitigen Verkehr) konstruiert worden. Sender und Empfänger sind auf einem Kasten, der auf einem fahrbaren eisernen Gestell montiert ist, vereinigt. Im Innern des Kastens, dessen Deckel aufklappbar ist, befinden sich die Leidener Flaschen, die Drosselspulen und der automatische Hauptschalter. Der Lichtbogen des Hochfrequenzgenerators für Mindestspannung 220 Volt brennt zwischen zwei Kohleelektroden von besonderer Form und Beschaffenheit; die Zündung geschieht automatisch. Um den für die Konstanz der Schwingungserzeugung wichtigen gleichmäßigen Abbrand der Elektroden zu erreichen, rotiert der Lichtbogen nach einem patentierten Verfahren elektromagnetisch. Im Empfänger wird ein Thermodetektor in Verbindung mit einem Telephon von hohem Widerstand benutzt. Die Antenne besteht aus einem vernickelten schirmartigen Gestell, das leicht zusammenzulegen und aufzustellen ist.

---

[1]) Vgl. besonders *E. Nesper*, Jahrbuch. 4. 241. 1911. Ungesteuerte und gesteuerte Stoßsender für drahtlose Telephonie.

Die Reichweite für Telephonie hängt außer von der Masthöhe natürlich von der an der Senderstelle aufgewandten Energie ab. Hier ist nun vorläufig noch eine sehr enge Grenze gezogen durch das Mikrophon. Um die durch die Sprache dosierte Schwankung der elektrischen Ausstrahlung hervorzurufen, kommt das gewöhnliche Mikrophon der Schwachstromtechnik zur Anwendung, das, wie wir sahen, entweder direkt in die Antenne oder in einen besonderen Kreis geschaltet wird. Für die Ausbildung großer Reichweiten bildete bis-

Fig. 114.



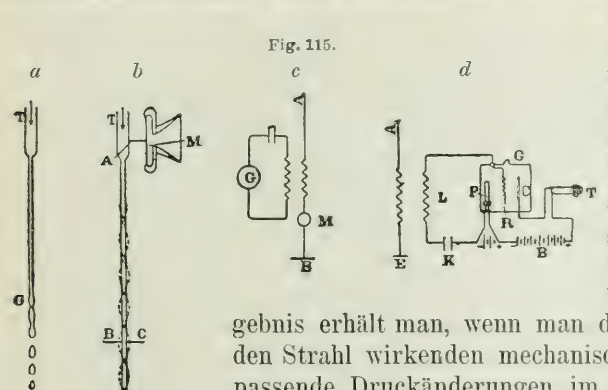
Demonstrationsmodelle für drahtlose Telephonie nach *E. F. Huth.*

her ein solches Mikrophon das alleinige, aber schwer zu nehmende Hindernis, denn die Senderenergie kann nicht beliebig gesteigert werden, weil das gewöhnliche Mikrophon durch große Energiemengen zerstört wird.

In dem Bestreben, andere Mikrophonanordnungen zu verwenden, ist jetzt besonders *Quirino Majorana* (Rom) mit seinem verbesserten sogenannten hydraulischen Mikrophon erfolgreich gewesen. Das Prinzip ist folgendes: Wenn ein Flüssigkeitsstrahl senkrecht aus einer engen Öffnung eines Zuleitungsrohres T ausfließt (Fig. 115a), so verläuft er eine Strecke

lang zylindrisch, beginnt dann, in G, sich zusammenzuziehen, um schließlich in Tropfen zu zerfallen. Es ist bekannt, daß mechanische Störungen, die auf das Rohr T wirken, die Einschnürungen des Flüssigkeitsstrahles oder die Tropfenbildung begünstigen. Wenn solche mechanische Störungen plötzlich und schnell hintereinander auftreten, so verkürzt sich der zylindrische Teil des Strahles und der Punkt G rückt näher an die Ausströmungsöffnung heran. Die Einschnürung des Strahles oder die Auflösung in Tropfen läßt sich in beliebigem akustischen Rhythmus erzeugen, wenn man auf das Rohr T oszillatorische Störungen akustischer Art einwirken läßt. Ein einfacher Versuch zeigt, daß der Strahl für eine solche Periode besonders empfindlich ist, mit der er periodisch bei G in einzelne Tropfen zerfallen würde, falls er nicht gestört wurde. Durch Verbesserung alter Versuchsanordnungen wurde erreicht, daß der Flüssigkeitsstrahl Einschnürungen erfährt, die man als angenähert proportional der Intensität der auf T wirkenden Stöße ansehen kann, und zwar für Perioden, die innerhalb weiter Grenzen liegen, wie sie in der menschlichen Stimme vorkommen. Dies Ergebnis erhält man, wenn man dafür sorgt, daß die auf den Strahl wirkenden mechanischen Störungen sich in passende Druckänderungen im Innern des Zuleitungsrohres umsetzen, und zwar nahe der Ausflußmündung. Zu dem Zwecke ist (Fig. 115*b*) das Zuleitungsrohr aus starrem Material gefertigt mit Ausnahme eines kurzen Stückes A, wo die Wandung ziemlich dünn und elastisch ist. Das Stück A steht in Verbindung mit einer schwingenden Membran M, welche bei dieser Anordnung den momentanen Wert des auf die Ausflußmündung wirkenden Flüssigkeitsdrucks unter der Einwirkung der Sprache schwanken läßt. Beobachtet man den Strahl mit einem Stroboskop, so sieht man, daß er sich unter dem Einfluß seines Tones von bestimmter Periode in charakteristischer Weise, wie es die punktierte Linie der Figur andeutet, einschnürt. Läßt man also den Flüssigkeitsstrahl auf zwei sich gegenüberstehende Metallelektroden B, C aufschlagen, so werden diese durch eine Flüssigkeitsmasse miteinander verbunden, die sich von Augenblick zu Augenblick, nach Maßgabe der durch die Membran übertragenen Schwingungen, verändert. Ist der Flüssigkeitsstrahl leitend (angesäuertes Wasser, Salzlösung, Quecksilber und dgl.), so ist natürlich auch der elektrische Widerstand zwischen B und C veränderlich. Die ganze Anordnung kann also als Mikrophon dienen. Ein solches Mikrophon kann große Stromstärken aushalten, weil sich die Flüssigkeitsteilchen, durch die der Strom fließt, fortwährend erneuern und sich in-

Fig. 115.



folgedessen nicht merklich erwärmen. Ferner kann auch die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden sehr hoch sein, weil man die Leitfähigkeit des Flüssigkeitsstrahles und den Abstand zwischen den Elektroden *B* und *C* beliebig verändern kann, d. h. das Mikrophon kann große Energiemengen vertragen. Wegen dieser Eigenschaft eignet es sich daher besonders zur Anwendung für die drahtlose Telephonie; man kann es direkt in den Antennenkreis einschalten, ohne ein Verbrennen, wie beim Kohlekörnermikrophon, befürchten zu müssen. In dem Schema der Fig. 115*c* bedeutet *M* das Mikrophon, das in die Antenne *A* des Senders eingeschaltet ist, die mit veränderlichem Kopplungsgrad mit dem primären Schwingungskreis zusammenhängt; in letzterem bedeutet *G* einen Generator für kontinuierliche Schwingungen, z. B. einen *Poulsen*schen Generator. — Im Empfänger verwendet *Majorana* als Detektor mit Vorliebe den schon vorher erwähnten Audiondetektor nach *De Forest*, dessen Anordnung aus Fig. 115*d* hervorgeht. *G* ist eine möglichst luftleere Glasbirne; diese enthält einen Metallfaden *F*, der durch einen Strom zum Glühen erhitzt wird. *R* ist ein Rost oder Netz aus Metall und *C* ein Metallblech. Zwischen der negativen Klemme der Lampe *F* und dem Netz *R* liegt ein Schwingungskreis mit der Selbstinduktion *L* und der Kapazität *K* (kleiner Kondensator von einigen hunderttausendstel Mikrofarad). Eine Batterie *B* von etwa 30 Volt liegt im Kreise mit *F*, *C* und dem Telephon *T*. Für gewöhnlich fließt ein von *B* gelieferter Gleichstrom durch das Telephon, denn der glühende Faden *F* strahlt Elektronen aus, von denen einige durch das Netz *R* hindurch auf das Blech *C* treffen. Wenn die elektrischen Wellen auf die Antenne fallen, gerät diese bei richtiger Abstimmung in Schwingungen. Durch Induktion wird auch *L* von veränderlichen Strömen durchflossen; es können aber nur negative Ladungen von *F* auf *R* übergehen (worauf eben die Ventilwirkung beruht). Es gerät daher der Kreis *L K F R* nicht richtig in Resonanz, weil seine Schwingungen infolge der unipolaren Leitfähigkeit der Strecke *F R* sofort gedämpft werden. Man kann daher diesen Kreis nicht auf die Antennenschwingung abstimmen. Der Wert von *K* kann deshalb beliebig gewählt werden, und andrerseits sind hohe Werte von *L* zweckmäßig, um hohe Potentialdifferenzen zwischen *F* und *R* zu erzielen. Der Kreis *L K F R* arbeitet wie das *Fleming*sche Schwingungsventil; das Charakteristikum der Anordnung von *De Forest* liegt in der Anbringung des Leiters *C*, wodurch eine außerordentliche Empfindlichkeit erreicht wird. Wenn nämlich die von dem glühenden Faden *F* in beschränkter Zahl ausgesandten Elektronen die Potentialdifferenz zwischen den beiden nächstgelegenen Leitern *F* und *R* (sobald die elektrischen Wellen wirksam sind) ausgleichen sollen, so können sie nicht, oder nur in geringerer Zahl, nach *C* gelangen. Es entstehen also im Telephonkreis Schwankungen der Stromstärke, die dosiert ist durch die Intensität der auf die Antenne auffallenden Wellen und also korrespondiert mit der schwankenden Stromstärke im Mikrophon des Senders. Auf diese Weise reproduziert das Telephon die ursprünglichen Sprachlaute. Fig. 116 zeigt das Innere einer *Majorana*-

schen Station. Die bisher erzielten Reichweiten scheinen sich aber auch nur zwischen 400—500 *km* zu bewegen. Für allgemeine Anwendung, besonders für bewegliche Stationen, dürfte das *Majorana*sche hydraulische Mikrophon auch zu delikat sein. In der Mikrophonfrage steckt also noch ein großes Problem der Radiotelephonie.

Die besten Erfolge mit der Radiotelephonie scheint noch *Poulsen* erzielt zu haben, der im letzten Herbst in Kalifornien bei Benutzung von ca. 94 *m* hohen Masten eine Reichweite von 550 *km* erreichte. Beim Telephonieren über ganz kurze Entfernungen kann ein gewöhnliches Telephon mit Trichter in Verbindung mit einer Thermozelle am Empfangsapparat die Wortübertragung schon objektiv hörbar machen. Bei größeren Entfer-

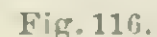


Fig. 116.



Majorana-Station für Radiotelephonie in Monte-Mario bei Rom (in Verbindung mit Majorana-Stationen in Maddalena — 300 *km* — und Trapani auf Sizilien — 500 *km* —).

nungen von 20—30 *km* an kann die objektive Wirkung durch Benutzung des neuen Brownrelais mit Vorteil erzielt werden.

Die bisher erörterten Methoden zur Erzeugung der elektrischen Hochfrequenzschwingungen bedienen sich des Funkens oder Lichtbogens, die wegen ihrer nie ganz zu beseitigenden Inkonstanz Faktoren bleiben, die der steten Aufmerksamkeit bedürfen; auch sind sie in der Energie, die man mit ihnen hervorbringen kann, begrenzt. Die Entwicklung der Radiotelegraphie regte deshalb schon früh aufs neue das Problem an, Hochfrequenzschwingungen direkt maschinell hervorzubringen. Nehmen wir an, man hätte eine Wechselstrommaschine, die einen Strom von genügender Frequenz und Leistung liefert, so würde man einfach, wenn die Maschine in Gang gesetzt ist, ihren einen Pol mit der strahlenden Antenne, ihren anderen Pol mit der Erde verbinden. Es

frug sich also, ob wir bei unseren gewöhnlichen Wechselströmen, die ja nichts anderes sind als elektrische Schwingungen niedriger Periode[1]), die Periodenzahl so weit steigern könnten, daß wir zu den in der Radiotelegraphie benötigten Frequenzen oder Schwingungszahlen von 50000 bis 3 Millionen pro Sekunde mit entsprechenden Wellenlängen von 6000 *m* bis 100 *m* gelangen würden, und zwar bei ausreichender Leistung. Im Anfang arbeitete man in der Radiotelegraphie mit 100 bis höchstens 300 *m* Wellenlänge; da lag also das Problem besonders schwierig. In den modernsten Großstationen mit ihren riesigen Antennenanlagen bedient man sich schon Wellenlängen von 10000 *m*, also einer relativ niedrigen Frequenz von 30000 Perioden in der Sekunde. Für normale Stationen sind jedenfalls 100000 Perioden und mehr als Frequenz erforderlich. Zur Steigerung der Periodenzahl verfuhr man nach dem nächstliegenden Gesichtspunkte, die Umdrehungszahl[2]) der Maschine und ihre Polzahl so viel wie möglich zu steigern. Nach diesem Prinzip haben schon vor 20 Jahren *Elihu Thomson* und *Nicola Tesla* Dynamos gebaut, die einen Wechselstrom von 10 Ampere bei einer Wechselzahl von 10000—15000 und einer Leistung von etwa 1 KW lieferten. Es folgten dann Hochfrequenzmaschinen von *Duddell, S. G. Brown, Fessenden* u. a., deren Frequenzen zum Teil schon in das Frequenzgebiet der modernen Radiogroßstationen fallen, die aber gänzlich unzulängliche Leistungen aufwiesen.

So führte *Duddell* im April 1905 der Physical Society in London eine Wechselstromdynamo vor, die eine Frequenz von 120000 zu geben vermochte, doch betrug ihre Nutzleistung nicht mehr als 0·2 Watt.

Fessenden[3]) soll es gelungen sein, eine Hochfrequenzmaschine von einer Frequenz von 80000/Sek. (Wellenlänge 3750 *m*) mit 1 KW Leistung herzustellen, die direkt die Schwingungen eines Kondensatorkreises ohne Funkenstrecke erregte; dieser induzierte auf die Antenne, in deren Erdleitung ein Mikrophon eingeschaltet war, so daß also drahtlos telephoniert werden konnte, was bis auf 25 englische Meilen möglich gewesen sein soll.

Alle diese Maschinen[4]) waren also von der Induktortype, bestehend aus festen Wicklungen, die beeinflußt werden von einem rapid rotierenden

---

[1]) Unsere städtischen Wechselstromdynamos arbeiten in der Regel mit 50 Perioden in der Sekunde.

[2]) An sich besteht hier bei Benutzung moderner Dampfturbinen mit ihren hohen Umdrehungszahlen als Antriebsmaschinen eines Wechselstrominduktors keine prinzipielle Schwierigkeit.

[3]) Vgl. *J. Zenneck,* Leitfaden etc. S. 200.

[4]) *Corbino* und *Rüdenberg* glaubten vor einigen Jahren einen Weg gefunden zu haben, indem sie eine Anordnung vorschlugen, bei der in den Stromkreis einer Hauptstromdynamomaschine ein Kondensator geschaltet wird. Sei W der Widerstand des gesamten äußeren und inneren Stromkreises, K eine von den Wicklungsverhältnissen, den Kraftlinienwegen und der Umdrehungszahl der Maschinen abhängige Konstante, so zeigt die Theorie für den Fall W = K, der durch Steigerung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Dynamo zu erreichen ist, eine dauernde Eigenschwingung konstanter Ampli-

Anker, der eine große Anzahl von Magnetpolen trägt. Das Prinzip der Polunterteilung muß aber selbst bei den durch moderne Dampfturbinen erreichbaren hohen Umdrehungszahlen schließlich versagen, da die Pole, die auf einem im Durchmesser begrenzten Cylinder anzuordnen sind, schließlich so winzig klein werden, daß sie keine Kraft mehr besitzen, wodurch auch die Maschine ihre Leistungsfähigkeit, insbesondere bei den höheren Wechselzahlen, einbüßt.

Braun erinnert in seinem letzten Bericht in der Frankfurter Zeitung daran, daß *Patten* im Jahre 1894 den Vorschlag machte, auf derselben Achse mehrere gleichgebaute Wechselstromgeneratoren anzubringen: die erste Maschine wird mit Gleichstrom erregt; der in ihr erzeugte Wechselstrom erregt die zweite Maschine und bringt dort Ströme doppelter Frequenz im rotierenden Teil hervor: dieser erregt die dritte Maschine usw. *Patten* nahm an, daß die Frequenzen sich je verdoppelten, also die Reihe 1, 2, 4, 8 usw. durchliefen; in Wirklichkeit aber steigen sie nur additiv nach der Reihe 1, 2, 3, 4 usw. Wesentlich derselbe Vorschlag wurde im Jahre 1908 von *L. Cohen* gemacht; er fügte aber Kondensatoren in die Wechselstromkreise, brachte sie dadurch auf Resonanz und gewann so steigende Frequenzen.

Die eigentliche Lösung des Problems wurde aber erst jetzt durch *Rud. Goldschmidt* gegeben. Der *Goldschmidt*sche Generator benutzt gleichfalls Wechselfelder, in denen Spulen, die von Wechselstrom durchflossen werden, rotieren; er bewirkt aber die Frequenzsteigerung in einem einzigen rotierenden Teil, indem die erzielten Ströme höherer Frequenz wieder dem feststehenden Wechselfeld zugeführt werden und so fort, so daß die Perioden sich gegenseitig steigern. *Goldschmidt* rekurriert hierbei auf eine jedem Ingenieur, der mit Einphasen-Wechselstromgeneratoren zu tun hatte, bekannte Erscheinung.

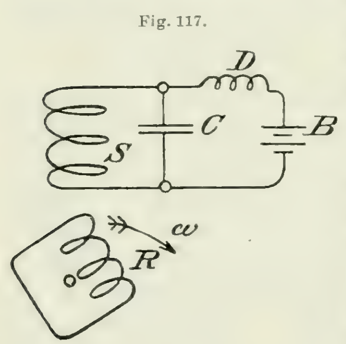
Es wird also eine Gruppe von fortbestehenden Spulen (Stator) bebenutzt, zwischen denen eine zweite Spulengruppe (Rotor) rotiert. Wird durch den Stator Gleichstrom geschickt, so entstehen im Rotor Ströme von der Frequenz f, die der Rotation entspricht. Die Ströme fließen über einen Kondensator in die Statorwicklung hinein und lassen hier ein Drehfeld entstehen, das selbst mit der Geschwindigkeit ω umläuft, und zwar muß die Zusammenschaltung von Rotor und Stator derart sein, daß das Drehfeld rückwärts rotiert und somit relativ zum Rotor die Winkelgeschwindigkeit $2 . \omega$ erlangt. Im Rotor entstehen hierdurch Ströme von der Frequenz $2 . f$, die wieder in den Stator fließen, und solche von $3 . f$ erzeugen (immer in denselben Wicklungen, in denen also Ströme verschiedener Frequenzen ohne gegenseitige Störung verlaufen) usf. Wenn also etwa die erste Strömung im Stator mit 1000 Perioden (Rotor) verläuft,

---

tuden des Schwingungskreises, bestehend aus der Kapazität des Kondensators und der gesamten Selbstinduktion des Systems. Die Frequenz wäre also abhängig von der Wahl dieser Konstanten; es ist jedoch nicht gelungen, sich der Hochfrequenz zu nähern.

so hat man durch einfache Rotation im Rotor und somit auch im Stator eine Frequenz von 2000 Perioden, die im Rotor eine Frequenz von 3000 hervorruft; im Stator wird dadurch wieder ein Strom von 4000 Perioden erzeugt, wodurch dann der Rotor schon einen solchen von 5000 Perioden führt usw. Im gewöhnlichen Wechselstromgenerator ist die Erzeugung der höheren Frequenzströme begrenzt durch den Umstand, daß die Amplituden der Reihen der harmonischen Schwingungen rapide abfallen infolge der entgegenstehenden hohen Impedanz. Um die Abdämpfung der höheren harmonischen zu verhindern, benutzt *Goldschmidt* Schwingungskreise (aus Kapazität und Selbstinduktion) als Nebenschlüsse[1]), die nach dem bekannten Prinzip elektrischer Resonanz wirken. Es werden so zwar durch die hin- und hergehende gegenseitige Induktion Wechselströme von allen möglichen Frequenzen von Null bis unendlich erzeugt, aber der Wechselstrom gewünschter Frequenz tritt aus dem Schwingungsgemisch durch Resonanz besonders stark hervor, während alle anderen Wechselströme möglichst schwach gemacht werden. Die elektrische Energie wird so vielmals zwischen Stator und Rotor der Maschine hin- und herreflektiert, wobei bei jeder Reflexion die Frequenz der Schwingungen erhöht wird, bis eine Frequenz entsprechend der Frequenz des strahlenden Antennensystems erreicht ist.

Fig. 117.



Wegen der Wichtigkeit der Sache gebe ich noch folgenden Auszug aus einem Originalbericht an das Jahrbuch von *Goldschmidt* selbst:

„Die in der Praxis angewandte Form der Maschine wird durch Fig. 117 dargestellt. Rotor und Stator tragen **einphasige** Wickelungen. Die Statorwicklung wird mit Gleichstrom erregt. Rotor R möge in sich kurz geschlossen sein, während beim Stator durch den großen Kondensator C ein Kurzschluß für Wechselströme hergestellt wird.

Erregt man S mit Gleichstrom, so werden in R Ströme von der Frequenz f erzeugt. Wir betrachten jetzt R als den primären Teil und denken uns das durch den Rotorstrom entstehende Wechselfeld in zwei mit der Geschwindigkeit ω ineinander entgegengesetzten Richtungen relativ zum

---

[1]) Es ist also an die einphasige Wicklung des Stators eine Reihe von Schwingungskreisen angeschlossen, welche durch passende Wahl von Selbstinduktion und Kapazität auf die Schwingungszahlen 2n, 4n, 6n . . . abgestimmt sind, wobei n die Grundperiodenzahl der im Rotor induzierten Ströme bedeutet. Außerdem ist die Statorwicklung von einem Gleichstrom durchflossen. Ebenso ist an die einphasige Wicklung des Rotors eine Reihe von Kreisen angeschlossen, welche auf die Schwingungszahlen n, 3n, 5n . . . abgestimmt sind. Dämpfungen und die gegenseitigen Induktionen der einzelnen abgestimmten Kreise sind so klein, daß man in jedem die Ströme anderer Frequenz, als solche, auf welche der Kreis abgestimmt ist, vernachlässigen kann.

Rotor rotierende Drehfeldkomponenten zerlegt. Eine dieser Komponenten steht im Raume still und bildet die Rotorreaktion auf das durch Gleichstrom erzeugte Statorfeld. Die zweite Komponente rotiert im Raume mit der Geschwindigkeit $2 . \omega$ (= Eigengeschwindigkeit + Rotorgeschwindigkeit) und erzeugt in dem Stator Ströme von der Frequenz $2 . f$. Mit diesen Strömen nehmen wir wieder eine Zerlegung in eine „Reaktionskomponente" und eine „Aktionskomponente" vor. Die letztere bedingt in R Ströme von der Frequenz $3 . f$. Schließlich entstehen auch hier theoretisch unendlich hohe Frequenzen. Bei dieser Anordnung werden die Ströme oder elektrischen Energiemengen durch Induktion zum Zwecke der Frequenzerhöhung vom primären auf den sekundären Teil zurückgeführt. Für diese Anordnung ist ferner charakteristisch, daß abwechselnd Rotor und Stator zum primären Teil werden.

Es möchte bei flüchtiger Prüfung erscheinen, daß man nach diesem Verfahren nur „höhere Harmonische" erzeugen kann, d. h. relativ kleine Oberschwingungen, wie sie bei jeder Wechselstrommaschine durch das „Nichtsinusförmige" des Feldes und der Wicklung als Nebenprodukt auftreten, und bei Einphasen- und Wechselstromgeneratoren durch die Rückwirkung von Feld und Anker aufeinander.[1]) Das ist aber tatsächlich nicht der Fall, wenn man dafür sorgt, daß die nicht ausgenutzten niederen Frequenzen sämtlich in wirklich kurz geschlossenen Kreisen fließen und nur die zu verwendende Frequenz dem Nutzwiderstand (Antenne) zugeführt wird. Dann findet innerhalb der Maschine eine Umsetzung der niedrigeren Frequenzen in höhere mit sehr beträchtlichem Wirkungsgrad statt, und zwar mit einer Energie, die bis zu einer gewissen Grenze mit wachsender Frequenz zunimmt, weil bei jeder Frequenzsteigerung sich immer wieder neue mechanische Energie in elektrische umwandelt. Ohne den Kurzschluß für die toten Frequenzen würden mit steigender Periodenzahl die Ströme schwächer und schwächer werden und die Erzielung von „Leistung" unmöglich sein. Man kann Stator- und Rotorwickelung mit einem feststehenden und einem rotierenden Spiegel vergleichen, zwischen denen die elektrische Energie ähnlich wie Lichtstrahlen hin- und hergeworfen wird. Die Reflexion erfolgt (infolge der Relativbewegung der Spiegel) unter Frequenzsteigerung und vollzieht sich um so vollkommener, je weniger Energie die „Spiegel" selbst verschlingen, d. h. je dämpfungsfreier die verschiedenen Schwingungskreise sind. Vielleicht wäre die Bezeichnung „Reflexionsgenerator" für meine Maschine angebracht.

Der Umstand, daß die Frequenzsteigerung in einer Maschine vor sich geht, bringt den Vorteil mit sich, daß die Aktionskomponente der Frequenz $n . f$ von der Reaktionskomponente der Frequenz $(n + 1) . f$ nahezu aufgehoben wird, so daß nur das letzte Feld (höchste Frequenz, Nutzfeld) in voller Stärke besteht und damit auch nur dies die vollen Eisenverluste bedingt. Die gegenseitige Aufhebung der Felder niedrigerer Fre-

---

[1]) Vgl. *Arnold,* Die Wechselstromtechnik. IV. S. 25 f.

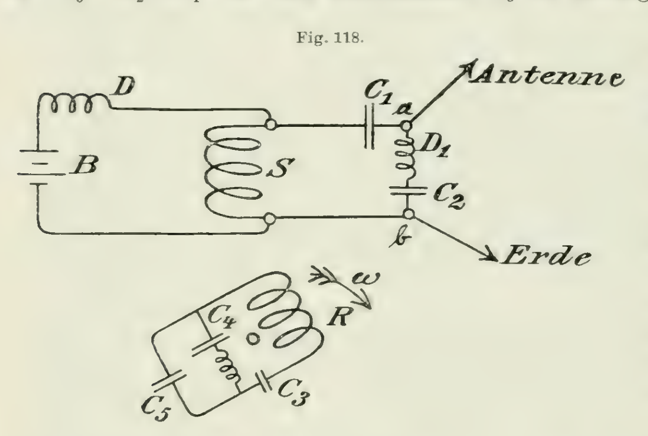
quenz ist um so vollkommener, je dämpfungsfreier die verschiedenen Abstimmungskreise sind.

Unter „wirklichem Kurzschluß" bei Wechselstrom ist nicht eine einfache Drahtverbindung, sondern ein Schluß durch einen Kondensator zu verstehen, der auch die in der Maschine selbst liegende Selbstinduktion aufhebt.

Wie diese Abstimmung geschieht, soll im Prinzip an Hand der Fig. 118 gezeigt werden. Diese Schaltung illustriert am deutlichsten das Verfahren. In Wirklichkeit sind freilich nicht unwesentliche Vereinfachungen eingetreten.

Es soll beispielsweise das Vierfache der Frequenz ($4 \cdot f$) hergestellt werden, die die Maschine ohne die Kunstschaltung liefern würde. Der Stator S werde über die Drosselspule D mit Gleichstrom erregt. Die Rotorströme von der Periodenzahl f fließen dann auf dem abgestimmten Wege R—C_3—D_2—C_4—R. Der Kondensator C_3 ist so abgeglichen, daß er die Selbstinduktion von R aufhebt, während D_2 und C_4 bei f-Perioden gerade in Resonanz sind. Die im Stator hervorgerufenen Ströme von $2 \cdot f$-Perioden fließen über C_1 (das auf die Selbstinduktion von S abgeglichen ist), D_1 und C_2, C_2 und D_1 sind in sich auf eine Eigenschwingung mit $2 \cdot f$ abgeglichen.

Fig. 118.



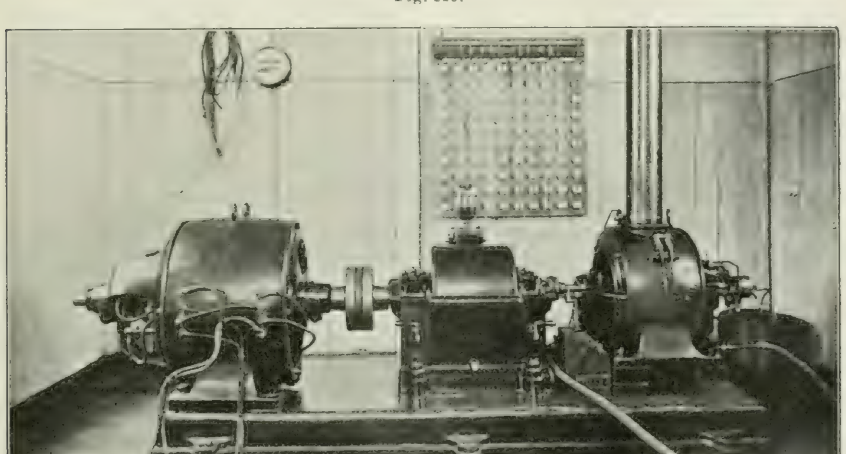
Die Rotorströme von der Frequenz $3 \cdot f$ fließen über das ebenfalls abgestimmte C_5. Nutzbar sollen die Ströme mit $4 \cdot f$ verwendet werden, und diese können zwischen den Punkten a und b rein abgenommen werden. Da D_1—C_2 für $4 \cdot f$ verstimmt sind, so fließt durch diesen Nebenschluß zur Antenne nur ein äußerst kleiner Strom vierfacher Frequenz. Diese beiden Hilfsapparate sind aber auf $2 \cdot f$ scharf abgestimmt, so daß zwischen a und b praktisch keine Spannung von $2 \cdot f$-Perioden herrscht. Bei dieser Schaltungsweise ist beachtenswert, daß z. B. das Hinzufügen von C_5 die Resonanz für f im Rotorkreise nicht stört, ebensowenig wie die Einschaltung der Antenne die Resonanz im Stator beeinflußt. Das liegt an den auf die Wickelungen abgestimmten Kondensatoren C_1 und C_3, die bewirken, daß die Kreise in Resonanz bleiben, gleichgültig, ob nun D_1—C_2 bzw. D_2—C_4 kurz geschlossen oder offen sind.

Fig. 119 stellt die erste Maschine dieser Art dar. Sie befindet sich auf der Radiostation der C. Lorenz Aktiengesellschaft in Eberswalde und

arbeitet hier seit April 1910. Diese Maschine liefert bei 10.000 *m* Wellenlänge 12·5 KW, bei 5000 *m* Welle sind immerhin noch 8—10 KW zu erzielen. Es bereitet aber keinerlei Schwierigkeiten, Maschinen für 60·80 KW und mehr herzustellen, ebensowenig wie die Erzielung von Wellen mit 3000 *m* Länge. Der Wirkungsgrad der Maschine bei 10.000 *m* Welle ist etwa 80%. Ein besonderer Vorzug der Maschine ist, daß man ihr durch einfache Umschaltung eine große Anzahl von Frequenzen entnehmen kann. Die feinere Abstufung der Wellenlängen erfolgt nach einem besonderen Verfahren."

Die *Goldschmidt*sche Hochfrequenzmaschine wird ohne Zweifel eine neue Epoche in der Radiotelegraphie und Radiotelephonie einleiten: für letztere ist sie natürlich wegen des kontinuierlichen Charakters der erzeugten Schwingungen auch prädestiniert. Immerhin knüpft sich ihre

Fig. 119.



Goldschmidts Hochfrequenzmaschine.

allgemeine praktische Einführung an gewisse Voraussetzungen, zu deren Erfüllung wohl auch noch manche Erfahrung nötig sein wird. Es ist ja klar, daß ein geringes Schwanken in der Tourenzahl des Generators jede der aufeinander folgenden harmonischen Schwingungen in der Frequenz verändern muß, so daß die schließliche Hochfrequenz nicht mehr den benötigten Wert hat. Gerade bei der großen Abstimmschärfe würde eine Änderung der Rotationsgeschwindigkeit der Maschine um 1% sicher schon den ganzen Effekt illusorisch machen. Die Amplituden der Harmonischen dürfte dann auch erheblich reduziert werden, da alle Resonanznebenschlüsse verstimmt sein werden gegen die Harmonischen, auf die sie abgeglichen sind, woraus sich eine beträchtliche Schwächung der ausgesandten Strahlung ergeben muß. Das sind aber schließlich Fragen der Technik, in deren Lexikon das Wort „unmöglich" heute nicht mehr steht. Immerhin wird auch nach Überwindungen aller technischen

Schwierigkeiten die *Goldschmidt*sche Hochfrequenzmaschine, wenn sie hinsichtlich des Wirkungsgrades mit den modernen Telefunkenstationen konkurrieren will, ihren Wirkungskreis hauptsächlich an großen Landstationen mit relativ niedrigen Frequenzen bzw. großen Wellenlängen entfalten müssen, wobei sie aber nicht als gefürchteter Konkurrent, sondern eher als ein willkommener Gehilfe und Zuträger der Kabeltelegraphie auftreten dürfte. Die weitgehende Variation der Wellenlänge, wie sie heute bei kleinen Stationen unbedingt praktisch verlangt wird, dürfte auch mit der Maschine nicht so rasch und leicht zu ermöglichen sein wie mit den bisherigen Methoden.

Wie ich soeben bereits andeutete, ist es jedem Fachmann klar, daß die Radiotelegraphie niemals die Telegraphie mit Drähten bzw. Kabeln, die mathematische Punkte miteinander verbinden, ersetzen kann (ich verweise auch auf einen übersichtlichen größeren Aufsatz, der kürzlich in der Nr. 631 der „Kölnischen Zeitung" erschien: Seekabel und drahtlose Telegraphie); das wird auch nicht der Fall sein, wenn die sogenannte „gerichtete" Radiotelegraphie zu einer viel höheren Vollkommenheit entwickelt sein würde, als dies heute der Fall sei; bei einer Radiotelegraphie, basierend auf den jetzt benutzten Vorgängen, kann ihrer Natur nach von einer gerichteten Telegraphie im Sinne des Telegraphendrahtes niemals die Rede sein. Die gerichtete Radiotelegraphie erstrebt, beim Sender die ausgesandten Wellen auf einen möglichst kleinen Winkelraum zu beschränken; tatsächlich erreicht ist, daß die Amplituden der Wellen in den verschiedenen Richtungen sehr verschiedene Werte haben.

Die Verwendung von Spiegeln nach dem Vorbild der *Hertz*schen Spiegelversuche ist bei der großen Wellenlänge der praktischen Radiotelegraphie ausgeschlossen, da die Spiegeldimensionen groß gegen die Wellenlänge sein müssen. Einen gewissen Erfolg hatten die Abschirmversuche von *Zenneck*, die zeigten, daß es möglich ist, durch einen zum Sender parallelen und auf die Senderschwingung abgestimmten, geerdeten Draht die Reichweite nach einer bestimmten Richtung stark zu schwächen ohne merklichen Einfluß auf die Reichweite in der entgegengesetzten Richtung, in der man telegraphieren will.

Bemerkenswert ist ferner die Doppelantenne im Abstand einer halben Wellenlänge von *A. Blondel*; die Ströme in demselben sind um 180° in der Phase gegeneinander verschoben. Für Punkte in der Ebene der Antennen verstärken sich die gleichphasigen Felder; man bekommt also in dieser Richtung eine maximale Wirkung, während für Punkte senkrecht zu dieser Ebene sich die Felder aufheben.

Sehr wichtig waren dann die Versuche von *Braun* mittelst mehrerer Antennen mit phasenverschobenen Schwingungen, nachdem die Hauptschwierigkeit, die verschiedenen Sender mit Schwingungen von vorgeschriebener Phasendifferenz zu erregen, von *Mandelstam* und *Papalexi* gelöst war.

Brauns einfaches Prinzip veranschaulicht Fig. 120 *a*. Von den drei in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks angeordneten Antennen A, B und C seien A und B gleichphasig, aber gegen C um eine Viertelschwingungs-

dauer verspätet erregt; die Höhe *C D* des Dreiecks sei gleich einer Viertelwellenlänge. Dann wird die Richtung *C D* für die Strahlung bevorzugt sein. Die von *C* ausgehende Welle wird *A B* in dem Momente erreichen. in dem *A* und *B* zu schwingen anfangen. Fig. 120 *b* zeigt schematisch den Aufbau, Fig. 121 die Feldcharakteristik in der sogenannten Wellenzone: Kurve *b* stellt das gemessene Feld dar, die Radienvektoren die Reichweite. Die Charakteristik [1]) zeigt also maximale Strahlung in der Richtung *A B* und überhaupt keine Strahlung in der entgegengesetzten Richtung. In dieser letzteren verschwand bei der praktischen Kontrolle die Wirkung nicht ganz. Indem man die Rollen der drei Sender — durch Umlegen eines Kommentators — vertauscht, lassen sich Drehungen der bevorzugten Richtung von je 120°, auch solche von je 60° erzielen. Eine noch günstigere Charakteristik (Kurve *c*) erhält man nach der Theorie mit vier geeignet angeordneten Antennen.

Fig. 120 *a*.

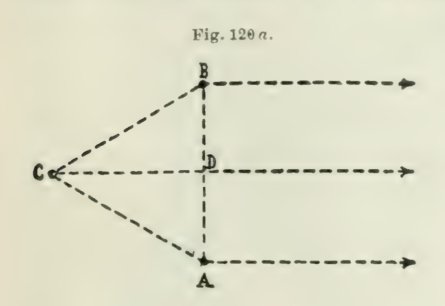


Fig. 120 *b*.

Gerichtete Radiotelegraphie nach *Braun*.

Die praktisch größten Erfolge hat *Marconi* [2]) mit seinen geknickten Antennen erreicht. Die mit ca. 50 000 Perioden arbeitenden *Marconi*schen Großstationen für transatlantischen Verkehr enthalten (s. Schema der Fig. 122) als Antenne eine große Anzahl von Drähten, welche vom Stationshaus fächerförmig ca. 50 *m* oder mehr in die Höhe geführt sind, dort umbiegen und dann, einander parallel, als ein breites Band mehrere hundert

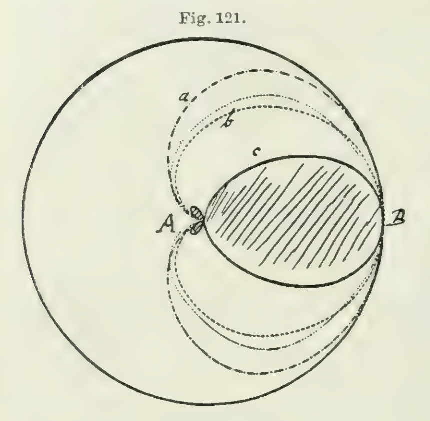
---

[1]) Man denkt sich in einer bestimmten Entfernung vom Sender, aber in verschiedenen Richtungen die Amplitude der Wellen gemessen und trägt diese Amplituden vom Sender aus in denjenigen Richtungen, in denen sie gemessen wurden, als Vektoren auf. Die Endpunkte dieser Vektoren verbindet man durch eine Kurve, die die sogenannte „Charakteristik der Fernwirkung" darstellt. Eine berechnete Charakteristik hat nur dann praktischen Wert, wenn sie für Entfernungen gilt, die, wie in der Praxis, groß sind gegen die Wellenlänge. Diese Charakteristik erhält man auch, indem man die Reichweiten des Senders (für einen bestimmten Empfänger) in den verschiedenen Richtungen als Vektoren aufträgt.

[2]) Ich bin selbst, wie in meinen Schriften publiziert, mehrere Jahre vor *Marconi* auf der meiner Leitung unterstellt gewesenen *Braun-Siemens*schen Ostseeversuchsstation durch besondere Umstände zur Verwendung geknickter Antennen geführt worden und habe ihre direktionselektive Wirkung erfahren, ohne daß ich jedoch damals die Bedeutung der Sache recht erkannte.

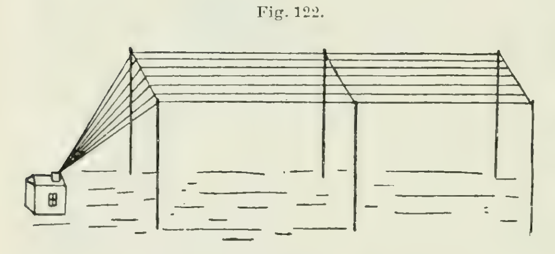
Meter horizontal verlaufen. In einer der Richtung des horizontalen Teiles entgegengesetzten Richtung ist die Fernwirkung am stärksten. Die von *Marconi* und *Fleming* gegebene Charakteristik war nicht für die Wirkung des Senders auf große Entfernung beweiskräftig. Der Umstand, daß aber tatsächlich dieser Sender als gerichteter Sender auch auf große Entfernung wirkt, kann, wie *Zenneck* zuerst zeigte, nur dadurch erklärt werden, daß das geringe Leitvermögen der Erde eine wesentliche Rolle spielt.[1]

Fig. 121.



Was schließlich die ebenfalls praktisch erfolgreichen gerichteten Sender von *Bellini* und *Tosi*[2] angeht, so ist das Wesentliche an ihnen die Verwendung von zwei schiefen Luftleitern[3], die entweder als Teile eines offenen Senders oder eines geschlossenen Kondensatorkreises ausgebildet sind. Solche Sender geben, wie es die Versuche zwischen den Stationen Dieppe, Havre und Barfleur bestätigt haben, eine maximale Wirkung in der Ebene der beiden Luftleiter, eine minimale in der Richtung senkrecht dazu.

Fig. 122.



Gerichtete Radiotelegraphie nach *Marconi.*

Die Fig. 123 zeigt das Innere einer neueren Station in Boulogne-sur-Mer. Von besonderem Interesse sind die in der Mitte der Abbildung sichtbaren Radiogoniometer, d. h. die Kopplungsvorrichtungen für Sender und Empfänger. Beide Konstruktionen, die für Sender und Empfänger nur hinsichtlich der aufgewickelten Drahtlänge und Drahtstärke voneinander abweichen, bestehen

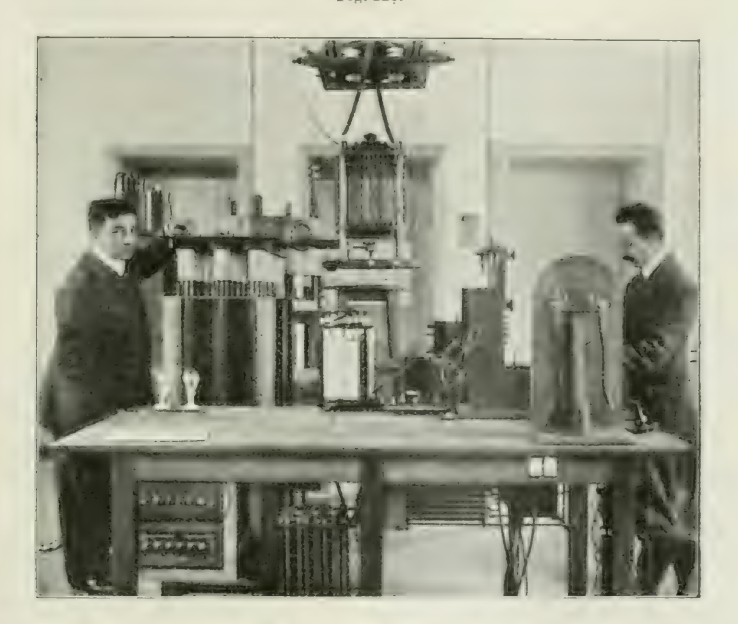
[1]) Vgl. *Zenneck,* Leitfaden etc. S. 319 ff., ferner speziell auch Jahrbuch. **4.** 159. 1911, einen Bericht von *Sommerfeld* über eine Arbeit seines Schülers *K. v. Hörschelmann,* die eine Bestätigung und Erweiterung der *Zenneck*schen These darstellt. Die Studie von *Hörschelmann* erscheint demnächst im Jahrbuch.

[2]) Vgl. Jahrbuch. **1.** 598. 1908; **2.** 381. 511. 608. 1909.

[3]) Die *Bellini-Tosi*sche Dreiecksantenne ist nur eine besondere Form der gerichteten Antenne. Die ideale Form besteht aus zwei vertikalen Antennen, schwingend in einer Viertelwellenlänge und von einander abstehend um eine halbe Wellenlänge; am unteren Ende sind sie durch einen horizontalen Leiter verbunden, durch den sie erregt werden können. Werden die beiden Antennen näher zusammengebracht oder geneigt, so vermindern sich Strahlung und Reichweite, zuerst langsam, dann sehr schnell. Das ganze Luftgebilde schwingt nicht in der Grundschwingung, sondern in der dritten Harmonischen.

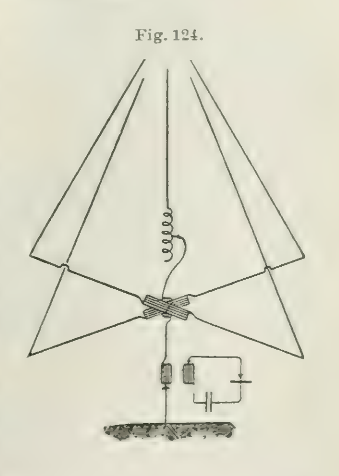
aus zwei um 90° gegeneinander versetzten festen Spulen, deren Enden mit je einer der gekreuzten Dreiecksantennen (vgl. Fig. 124) des Systems verbunden werden. Im Innern dieser Spulen befindet sich, mittelst eines Handgriffes drehbar angeordnet, eine kleine Spule, die beim Sender mit dem Erregerkreise, beim Empfänger mit dem Empfangsresonanzkreise

Fig. 123.



Bellini-Tosi-Station für gerichtete Radiotelegraphie in Boulogne.

Fig. 124.



verbunden ist und dazu dient, die elektrischen Schwingungen auf das Spulensystem zu übertragen oder von diesem zu entnehmen. In Übereinstimmung mit der Theorie hat sich ergeben, daß die Richtung des resultierenden Feldes stets mit der Wicklungsebene der beweglichen kleinen Spule zusammenfällt; daß das Feld sich zwangläufig mit ihr dreht (sein Wert bleibt stets konstant); daß für jede Stellung der beweglichen Spule die Feldintensität im Raume nach dem Sinusgesetz verteilt ist.

Das beschriebene System kann als ein bilaterales bezeichnet werden, da man zwei Telegraphierrichtungen hat, die um 180° voneinander verschieden sind, für beide hat man die gleiche Stellung der Spule des Radiogoniometers im Empfänger. Es wäre natürlich wünschenswert, nur die eine Richtung zu haben, d. h.

ein unilaterales System auszubilden. Das Problem wurde wie folgt gelöst:

Ein Luftgebilde (für gerichtete Telegraphie), bestehend aus einem Paar vertikaler Antennen oder aus einem Rahmen, strahlt nach vorwärts und rückwärts, aber die Phase ist entgegengesetzt. Die Phasendifferenz besteht, weil die Ströme und Potentiale gleich und von entgegengesetztem Vorzeichen in den beiden Hälften des Luftgebildes sind. Eine vertikale Antenne strahlt zirkulär, weshalb das polare Diagramm (Charakteristik) der durch die Antenne erzeugten Feldintensität durch einen Kreis dargestellt ist. Wenn man das Luftgebilde einer Sendestation bildet aus einem Paar vertikaler Antennen oder einem Rahmen und aus einer vertikalen Antenne, so setzt sich bei gleichzeitiger Erregung aller die zirkuläre Strahlung der letzteren mit der Strahlung der ersteren zusammen. Sind dieselben gleich, so ist die zirkuläre Strahlung in Phase mit der anderen Strahlung nach der einen Richtung in entgegengesetzter Phase nach der entgegengesetzten Richtung. Die resultierende Strahlung wird daher nach der einen Seite verstärkt; nach der entgegengesetzten ist sie Null.[1]) Dies gilt natürlich auch, wenn man das richtende Luftgebilde sich drehen läßt, während die vertikale Antenne ihre Lage stets unverändert beibehält. Anstatt diese Drehung wirklich auszuführen, kann man natürlich wieder zwei vertikale Luftleiter mit der kleinen beweglichen Spule des Radiogoniometers verbinden und letztere drehen. Um die einzelne vertikale Antenne zu erregen, besitzt das Radiogoniometer noch eine dritte Wicklung, die sich mit der primären Wicklung bewegt und stets gleich von dieser erregt wird, welches auch ihre Lage ist. Die Enden dieser dritten Wicklung sind einerseits mit der Erde, andrerseits durch Vermittlung einer Selbstinduktion mit der vertikalen Antenne verbunden.

Für den Empfänger gilt das Analoge. Die Diagramme der Feldintensität und der Energie sind vollständig analog denjenigen des Senders; es war zu berücksichtigen, daß die Wirkungen der vertikalen Antenne gegen diejenigen des richtenden Luftgebildes um eine Viertelperiode differieren.

Dieses unilaterale System gestattet also das Aussenden oder besser die Konzentration der Wellen, ausschließlich in der Richtung der Empfangsstation, und man ändert diese Richtung durch veränderte Orientierung der beweglichen Spule des Sender-Radiogoniometers, und hinsichtlich des Empfanges kann man von zwei Sendestationen, die um 180° voneinander abstehen und gleichzeitig geben, ausschließlich die Zeichen nur von einer Seite aufnehmen.

In erster Annäherung kann man sagen, daß die Reichweite mit der Intensität des erzeugten elektromagnetischen Feldes oder mit der Quadratwurzel aus der ausgestrahlten Energie wächst. Es ergibt sich hier-

---

[1]) Wegen Theorie und Diagramme vgl. l. c. Soc. Int. d. Él. Extrait. S. 19 bis 21. 1909.

aus, daß auch die Reichweite der betrachteten gerichteten Sender derjenigen einer vertikalen Antenne überlegen ist. Z. B. wird der früher betrachtete gerichtete Sender, bestehend aus zwei vertikalen Antennen, die in entgegengesetzter Phase schwingen und die um eine halbe Wellenlänge voneinander abstehen, in einem gegebenen Punkte eine Energie ausstrahlen, die viermal größer ist als diejenige von der entsprechenden vertikalen Antenne; die Reichweite wird also annähernd doppelt so groß sein.[1]) Auch im Empfänger kommt man zu dem Schluß, daß die erzeugte elektromotorische Kraft bzw. die empfangene Energie in bzw. durch das betrachtete richtungsfähige Luftgebilde das doppelte bzw. das vierfache der Werte bei der entsprechenden vertikalen Antenne betragen kann.

Angenommen zwei Stationen mit je einer vertikalen Antenne könnten unter sich bis auf eine Entfernung D verkehren. Wenn man jetzt die Antennen im Luftgebilde für gerichtete Telegraphie umändert, jedes bestehend aus zwei vertikalen Antennen, gleich der bisherigen Antenne, so wird in erster Annäherung die Reichweite auf 4 D wachsen.

Die Reichweite eines Paares richtungsfähiger Luftgebilde, jedes bestehend aus zwei vertikalen Antennen, ist also erheblich überlegen derjenigen eines entsprechenden Paares vertikaler Antennen; sie ist approximativ viermal so groß.

Allgemein gelten für den gerichteten Empfänger ähnliche Betrachtungen wie für den gerichteten Sender. Zu erwähnen sind die Doppelantennen im Abstand einer halben Wellenlänge von *F. Braun* und *v. Sigsfeld*; die schiefen Antennen von *Braun* und von *Bellini* und *Tosi*, die Schleifenantennen von *de Forest*, die horizontalen bzw. geknickten Antennen von *de Forest* und von *Marconi*.

Zusammenfassend wäre also zu sagen, daß in dem größeren Wirkungsgrad, der erhöhten Reichweite, Richtungsfähigkeit, selektiver Empfangsfähigkeit und Richtungsbestimmungsfähigkeit die Vorzüge der Anordnungen für gerichtete Radiotelegraphie liegen.

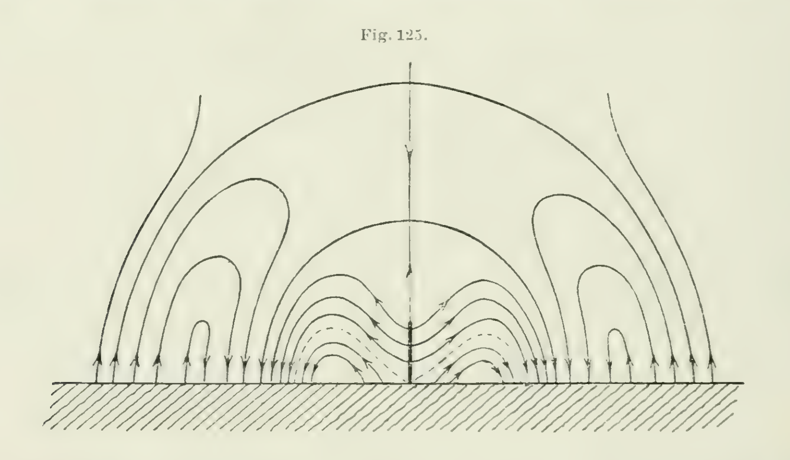
Gerade die gerichtete Radiotelegraphie hat auch wieder die Aufmerksamkeit darauf gerichtet, wie unvollkommen unsere Vorstellung über den Ausbreitungsvorgang zwischen Sender und Empfänger ist. Die Erfahrung hatte gelehrt, daß die Länge der Antennen[2]) der Quadratwurzel aus der zu überbrückenden Entfernung proportional sein soll. Die eigentliche Begründung suchte man in der verstärkten Beugungserscheinung infolge vergrößerter Wellenlänge. Von dieser Beugungstheorie, die anfangs besonders von *Poincaré* vertreten wurde,

[1]) Vgl. experimentelle Bestätigung bei *F. Kiebitz.* Verh. d. Phys. Gesellsch. **10.** Nr. 23. 1908.

[2]) Je länger übrigens die Empfangsantenne ist, um so größer ist die Fläche, von der die Strahlungen aufgefangen werden; wie *Poincaré* treffend bemerkt, ist der Sachverhalt gerade so, als wenn man ein entferntes Licht durch ein Fernrohr betrachtet, dessen Objektivöffnung sehr groß ist.

ist man jetzt etwas abgekommen. In einer anderen Theorie stellt *Sommerfeld* die These auf, daß die begrenzte Leitfähigkeit der Erde einen ausreichenden theoretischen Grund liefere für die Größe der praktisch erzielten Wirkungen, wenigstens für kleine Entfernungen. Eine dritte Theorie, die jetzt hauptsächlich von *Nicholson* [1]) mathematisch ausgebaut wird, behauptet, daß die Schwingungen eines Senders in die obere Atmosphäre gelangen und dort auf Schichten treffen, die leitend geworden sind. Dies verursacht eine Reflexion der Wellen, so daß der reflektierte Wellenzug die Erde wieder trifft mit einer Intensität, die viel größer ist als diejenige, welche vorhanden wäre beim Fehlen einer solchen atmosphärischen Leitfähigkeit bzw. Reflexion. In guter Übereinstimmung mit der letzten Theorie steht der allbekannte Unterschied der Reichweiten bei Tag gegenüber solchen bei Nacht. So einfach, wie man sich die Sache gemäß Diagramm der Fig. 125

Fig. 125.



vorstellte, ist der Ausbreitungsvorgang jedenfalls nicht; nach diesem Kraftlinienbild müssen die Wellen, die von der Antenne weggehen, am Erdboden entlang gleiten, d. h. der Erdboden wird in der Radiotelegraphie als Leiter benutzt, dessen gelegentliche schlechte Leitfähigkeit lediglich zu Energieverlusten Anlaß gibt, woraus dann auch folgen würde, daß die Intensität der Wellen schneller abnimmt als umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung, und daß man über das gut leitende Meerwasser weiter telegraphieren kann als über Land, wie es die Erfahrung lehrt. Ich halte es demgegenüber für zweckmäßig, folgende allgemeine Zusammenstellung im Jahrbuch [2]) von *A. Sommerfeld* wiederzugeben: „Man begnügt sich für den Ausbreitungsvorgang in der Regel mit der Annahme, daß die Erde für die Frequenzen der Radiotelegraphie als unendlich guter Leiter wirke.

[1]) Vgl. Jahrbuch, 4, 20, 1910.
[2]) Jahrbuch, 4, 157, 1910.

Bei ebener Erdoberfläche kann man dann nach dem Vorgang von *M. Abraham*[1]) die Wellenausbreitung einfach beschreiben auf Grund der Formeln des *Hertz*schen Dipols, indem man zu dem Felde in Luft das an der Erdoberfläche gespiegelte hinzudenkt und dadurch der Bedingung des vollkommenen Leiters genügt, nach der die Kraftlinien senkrecht auf der Erdoberfläche endigen müssen. Dieselbe Annahme wird auch bisher der Behandlung der sphärisch gekrümmten Erdoberfläche ausschließlich zugrunde gelegt.[2]) Auf die Wichtigkeit der besonderen Bodenbeschaffenheit für den Ausbreitungsvorgang hat zuerst *J. Zenneck*[3]) hingewiesen. Insbesondere vertritt er die Theorie, daß die Wirkungsweise des *Marconi*schen geknickten Senders[4]) nur durch Berücksichtigung der endlichen Leitfähigkeit des Erdbodens verständlich werde. In einer umfangreichen Arbeit[5]) habe ich selbst die erforderlichen mathematischen Entwicklungen zu einer strengen Behandlung des Ausbreitungsproblems gegeben, bei beliebiger Beschaffenheit des Erdbodens unter vorläufiger Beschränkung auf den Fall der ebenen Begrenzung. Meine Formeln stellen eine Erweiterung der Theorie des *Hertz*schen Dipols dar, derart, daß die von dem Sender ausgehende Erregung nicht aus zwei spiegelbildlich gleichen Hälften besteht wie im Falle unendlich guter Leitfähigkeit, sondern unsymmetrisch gegen die Erdoberfläche wird mit Kraftlinien, die die Erde nicht senkrecht treffen." Es folgen dann von *Sommerfeld* Ergänzungen seiner früheren Ausführungen. insbesondere für solche Fälle des Erdreichs. in denen die dielektrische Polarisation neben der *Ohm*schen Leitung nicht zu vernachlässigen ist. Ich verweise darauf sowie auf die ebenfalls im Jahrbuch erschienene Arbeit von *P. Epstein*, in der die Kraftliniendiagramme entworfen sind, die den verallgemeinerten Dipol in ähnlicher Weise erläutern wie die bekannten von *Hertz* theoretisch konstruierten Figuren den symmetrischen Dipol für die Ausstrahlung elektrischer Kugelwellen bzw. die Abschnürung elektrischer Feldlinien. Über die Rolle der senkrecht stehenden Antennen ist allgemein folgendes zu sagen: Die Strahlungsquellen des Lichtes liefern Schwingungen, deren Energie nach allen Seiten gleichmäßig ausstrahlt; wir haben eine Kugelwelle, die sich nach allen Richtungen mit derselben Intensität ausbreitet. Auch durch die elektrischen Schwingungen der Antenne haben wir in großen Entfernungen eine Kugelwelle, die in radialer Richtung fortschreitet, aber ihre Intensität ist nach verschiedenen Richtungen sehr verschieden. In der nutzbaren äquatorialen Richtung hat die Strahlung[6]) ein Maximum bzw. es wird mehr Energie in der wagrechten Ebene als

---

[1]) Phys. Zeitschr. **2**. 329. 1901. Theorie der Elektrizität. 2. § 34 und Enzyklop. d. math. Wiss. V. Art. 18.

[2]) Vgl. zusammenfassenden Bericht von *J. W. Nicholson* im Jahrbuch. **4**. 20. 1910.

[3]) Ann. Phys. **23**. 846. 1907. Phys. Zeitschr. **9**. 50. 1908.

[4]) Phys. Zeitschr. **9**. 553. 1908.

[5]) Ann. Phys. **28**. 665. 1909.

[6]) Bekanntlich sind elektrisches und magnetisches Feld überall senkrecht zueinander orientiert und die Energieübertragung geschieht nach dem *Poynting*schen Satz in der Richtung senkrecht zu beiden Feldern.

in senkrechter oder schräger Richtung ausgestrahlt. Daraus ergibt sich die Überlegenheit der Schwingungserregung durch eine vertikale geradlinige Antenne gegenüber Anordnungen, die die Emission nach Art des gewöhnlichen Lichtes erfolgen lassen würden. Dies wird noch erhöht durch die ebenfalls senkrechte Empfangsantenne, die die senkrechte Schwingung, die sie empfängt, ganz ausnutzt.[1])

Was allgemein die Strahlung angeht, so wächst dieselbe schnell mit zunehmender Schwingungszahl. Die moderne langwellige Schirmantenne hat auf diese Weise tatsächlich ein geringeres Ausstrahlungsvermögen als die frühere kleine Antennenform; da sie aber infolge ihrer größeren Kapazität viel größere Energiemengen aufnimmt, so kann man mit ihr viel stärkere Wellen in den Raum aussenden als mit anderen Antennen und so den Nachteil der langsameren Strahlung kompensieren. Es existieren da, wie immer bei Problemen, gegensätzliche Faktoren, die man von Fall zu Fall je nach dem vorliegenden Bedürfnis bald nach der einen, bald nach der anderen Seite regulieren muß.

Es war schließlich noch meine Absicht, auf die „Weltäther"-Frage etwas näher einzugehen, doch muß ich darauf verzichten, da der mir zur Verfügung stehende Raum ohnehin schon überschritten ist. Ich muß mich deshalb kurz fassen mit der Bemerkung, daß die modernen Physiker sich heute in zwei Klassen spalten. Die einen betrachten auf Grund der *Lorentz-Einstein*schen Relativitätstheorie die „Äther"-Hypothese als einen überwundenen Standpunkt. Als eine Konsequenz ihrer Anschauung müssen ihnen die Wellen des Lichts wie die die großen Wellen der Radiotelegraphie konstituierenden elektromagnetischen Felder nicht mehr als Zustände eines Mediums, sondern als selbständige Gebilde erscheinen, die von der Strahlungsquelle ausgesandt werden [2]); sie sind der Ansicht, daß der „Äther" nur solange einen Wert für die Veranschaulichung optisch-elektrischer Vorgänge hatte, als man solche wirklich auf mechanische Vorgänge zurückführte. Für sie hat sich der Begriff der Kraftlinienfelder in ganz besonderer selbständiger Weise konkretisiert.

Die andere Klasse von Physikern, speziell den experimentierenden, zu denen auch ich mich zähle, glauben an eine Realität des „Weltäthers"

---

[1]) Über die Strahlung von Antennen vgl. auch *C. Fischer*, Physikal. Ztschr. **12.** 295. 1911.

[2]) Die Emissionstheorie *Newtons* bezw. die Korpuskularhypothese aller Strahlungen soll also wieder aufs neue erstehen, und die Ondulationstheorie des Äthers aufgegeben werden. Anderseits ergibt sich aber, daß keine Substanz sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes bewegen könnte; die dazu notwendige Energie müßte unendlich sein. Als Prof. *Einstein*, nach einem hiesigen Vortrag über seine Relativitätstheorie und ihre Konsequenzen, über diese Schwierigkeit besonders interpelliert wurde, meinte er, daß ja diese Lichtsubstanz nicht notwendig eine gewöhnliche Substanz sein müsse. Dann sieht man aber nicht recht ein, weshalb der alte Äther, der so gute Dienste geleistet hat, verabschiedet werden soll, zu Gunsten einer neuen Substanz mit nicht weniger geheimnisvollen Eigenschaften; beide erscheinen prinzipiell gleichwertig. Durch die Annahme eines räumlich diskontinuierlichen bewegten, durchdringlichen Äthers würde sich die Weltäther-Hypothese sehr wohl behaupten können.

bzw. sie sind der Ansicht, daß noch keine zwingende Veranlassung vorliegt, auf die so fruchtbar gewesene Ätherhypothese zu verzichten: sie sind sich aber darüber klar, daß vielfach widersprechende Eigenschaften des „Äthers" nur sui generis, nicht aber nach den Eigenschaften gewöhnlicher Materie verständlich sind, und daß die Begriffe der Mechanik überhaupt nicht ohne weiteres auf denselben angewendet werden können; sie glauben nicht ohne diese Vorstellung des „Weltäthers", dessen einfache Gesetzmäßigkeiten sich in den *Maxwell*schen Gleichungen widerspiegeln, auskommen zu können, um sich ein Bild von den Vorgängen in einer elektromagnetischen Welle zu machen. Um nur einen Hinweis zur weiteren Information zu geben, verweise ich speziell auf zwei Vorträge: *P. Lenard*, „Über Äther und Materie", Rede, gehalten in der Sitzung der Gesamtakademie Heidelberg, am 4. Juni 1910 und *Max Planck*, „Die Stellung der neueren Physik zur mechanischen Naturanschauung", Rede, gehalten in der 82. Versammlung der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte in Königsberg, am 23. September 1910, ferner auf ein neueres ausgezeichnetes Werk von *Gustav Mie:* „Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus, eine Experimentalphysik des Weltäthers."

Ich glaube hiermit meine Übersicht abschließen zu können; dieselbe muß einerseits wegen der ungeheuer großen Ausdehnung, die das Gebiet der Radiotelegraphie und Radiotelephonie in wissenschaftlicher und technischer Hinsicht genommen hat, und andrerseits wegen des mir für die Darstellung zur Verfügung stehenden knappen Raumes notwendigerweise fragmentarisch sein. Spätere Spezialaufsätze sollen da die wünschenswerten Ergänzungen bringen. Ich bin deshalb auch nicht auf Details und Besonderheiten der Apparatur, Antennenformen, Mastkonstruktionen[1]) u. a. m. eingegangen, ebenso nicht auf die mehr oder weniger berechtigten Merkmale derjenigen sogenannten „Systeme", die in Wirklichkeit prinzipiell alle nach dem Braunsystem arbeiten. Es erübrigt sich, auch über die heutige Anwendung der neuen Verkehrsmittel viele Worte zu verlieren. Es ist allgemein bekannt, welche wichtige unentbehrliche Rolle dieselben heute in Heer und Marine spielen; alle größeren Festungen und sämtliche Kriegsschiffe besitzen drahtlose Installationen und die leichten fahrbaren Landstationen folgen den schnellsten Kavalleriebewegungen, wodurch eine bisher unerreichte organische Zentralisation der Kriegführung ermöglicht ist. Aber auch sämtliche Feuerschiffe und Lotsenstationen, ferner alle größeren Passagierdampfer besitzen heute ihre Radiostationen, deren Installation heute schon in einigen Ländern vom Gesetz gefordert ist und allmählich allgemein obligatorisch werden dürfte, was im Interesse der Sicherheit des Seeverkehrs nur zu wünschen wäre. Nach den jüngsten Verfügungen können jetzt auf allen Telegraphenämtern Radiotelegramme aufgegeben

---

[1]) Dem Namen nach erwähnt seien wenigstens die wichtigen und interessanten Konstruktionen der zusammenlegbaren und transportablen Fontana- und Komet-Maste.

werden: über die Einrichtungen, Vorschriften und Kosten haben gerade die größeren Tageszeitungen ausführliche Berichte gebracht. Auch der Luftschiffahrt dürfte die Radiotelegraphie bald unentbehrlich werden, nachdem sie sich den besonderen Verhältnissen angepaßt hat. Sehr wichtig ist auch der radiotelegraphische Zeitdienst, der heute von fast allen Hilfsstationen, z. B. Nauen, Norddeich, Eiffelturm etc. regelmäßig ausgeübt wird, ferner der drahtlose Wetterdienst und Sturmwarnungsdienst, wie er durch die deutsche Seewarte im Zusammenschluß mit der englischen Seebehörde schon heute hoch entwickelt ist. Selbst auf einigen Erdbebenwarten, z. B. in Laibach, befinden sich jetzt schon Radiotelegraphiestationen, um sich mit anderen Warten schnell verständigen zu können und ein möglichst vollkommenes Mittel zur genauen Zeitbestimmung zu besitzen.

Über sämtliche Land- und Nordstationen aller Länder, über ihre Einrichtungen und Reichweiten etc. werden vom internationalen Bureau für Radiotelegraphie in Bern Berichte veröffentlicht.

Was die luftelektrischen Störungen der Radiotelegraphie angeht, so konnte ich hierauf ebenfalls wegen Platzmangel nicht eintreten. Ein zusammenfassender Bericht und Vorschläge zur Beschränkung dieser Störungen finden sich z. B. in der Zeitschrift „Prometheus“, Nr. 1105. 31. XII. 1910; ferner erscheint demnächst im Jahrbuch ein Aufsatz von *Erskine-Murray:* The origin of „Atmospherics“ in wireless telegraphy. Ich hoffe auf dieses Thema und neuere Untersuchungen ebenfalls bei einer späteren Gelegenheit zurückkommen zu können.

Den Abschluß dieser Ausführungen möge ein kurzer Bericht über die jüngste wichtige Neugründung der „Deutschen Betriebsgesellschaft für drahtlose Telegraphie“ bilden:

Am 15. Januar 1911 hat die Tätigkeit einer neu gegründeten Radio-Telegraphengesellschaft unter dem Namen „Deutsche Betriebsgesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H.“ Berlin begonnen.

Wie bekannt, hatte seit längerer Zeit die englische Marconigesellschaft eine Anzahl von Schiffen der Hamburg-Amerika-Linie und des Norddeutschen Lloyd ausgerüstet, und die Stationen mit eigenem Personal in eigener Regie betrieben. Die mit diesen beiden Schiffahrtsgesellschaften abgeschlossenen Verträge laufen noch bis zum Jahre 1914 bzw. 1917.

Der Entschluß dieser beiden größten Schiffahrtsgesellschaften Deutschlands, das Marconisystem zu adoptieren, war erfolgt, weil zur Zeit der Vertragsschließung mangels einer internationalen Regelung ein guter Verkehr mit Küstenstationen in England und anderen Ländern nur den mit Marconistationen ausgerüsteten Schiffen möglich war, denn die Marconigesellschaft hatte damals an den für die Schiffahrt wichtigen Stellen Stationen errichtet und weigerte sich, den Verkehr mit anderen Systemen aufzunehmen.

Diese Sachlage änderte sich mit dem am 1. Juli 1907 erfolgten Inkrafttreten der Berliner Konvention für Funkentelegraphie. Gemäß dieser

Konvention haben sich mit Ausnahme von Italien fast alle Länder von Wichtigkeit verpflichtet, den Verkehr zwischen den Küstenstationen ihres Landes und vorbeifahrenden Schiffen, gleichviel mit welchem System sie ausgerüstet sind, obligatorisch zu machen.

Hiermit war die Möglichkeit der Nutzbarmachung der Funkentelegraphie für die Handelsschiffahrt aller Länder unabhängig von dem Marconisystem gegeben. Von diesem Moment ab ist daher auch tatsächlich ein ungeheurer Aufschwung in der Benutzung der drahtlosen Telegraphie für kommerzielle Zwecke bemerkbar.

In Deutschland waren z. B. am 1. Juli 1907 ca. 32 Schiffe mit Stationen eingerichtet, während am 1. Januar 1911 bereits mehr als 100 Stationen an Bord von Handelsschiffen in Betrieb sind. Nach Inkrafttreten der internationalen Konvention hat die Ausbreitung des Marconisystems auf der deutschen Handelsflotte keine wesentliche Zunahme mehr erfahren, sondern es ist bei den seinerzeit eingerichteten Dampfern des Norddeutschen Lloyd und der Hamburg-Amerika-Linie geblieben.

Die Telefunkengesellschaft hat jedoch von diesem Augenblick an in der deutschen Handelsschiffahrt eine rege Tätigkeit mit Erfolg entfaltet, so daß man heute wohl sagen kann, die Benutzung der Funkentelegraphie an Bord deutscher Handelsschiffe ist Allgemeingut geworden.

Es war jedoch nicht zu verkennen, daß die Steigerung des Betriebes noch eine ganz andere sein, und daß die Betriebsbedingungen für die Reedereien sich bedeutend angenehmer gestalten würden, wenn sich nicht innerhalb der deutschen Handelsflotte die beiden Konkurrenzgesellschaften Telefunken und *Marconi* in hartem Kampf gegenüberstehen würden. Dieser Kampf um den Vorrang verschärfte sich mit der Zeit dermaßen, daß schließlich auch der Gesamtverkehr darunter zu leiden anfing und vielfach Wünsche laut wurden, der funkentelegraphische Betrieb in der deutschen Handelsflotte möge von einer deutschen Gesellschaft organisiert und geleitet werden, die in der Lage ist, unabhängig von dem fortdauernden technischen Konkurrenzkampf zwischen Telefunken und *Marconi* sich dem deutschen Funkentelegraphenverkehr dienstbar zu machen.

Diese Wünsche haben mit der Gründung der „Deutschen Betriebsgesellschaft“ (Debeg) in vollem Maße ihre Erfüllung gefunden.

Die Deutsche Betriebsgesellschaft ist auf Grund eines Übereinkommens zwischen der Berliner Telefunkengesellschaft, der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie System *Braun* und Siemens & Halske G. m. b. H. und der Compagnie de Télégraphie sans fil, Brüssel (Lizenzträgerin der deutschen Marconipatente) gegründet.

Ihr voll eingezahltes Gründungskapital beträgt M. 900.000·—.

Zum Zwecke der Ausübung des Telegraphenverkehrs auf deutschen Schiffen hat die Gesellschaft sämtliche bisher von der Telefunkengesellschaft und der Marconigesellschaft getrennt betriebene bzw. in Ausrüstung

befindliche 124 deutsche Schiffsstationen einschließlich Personal übernommen und ist in die Rechte und Pflichten der zwischen der Telefunken- und der Marconi-Gesellschaft einerseits und den deutschen Reedern andrerseits früher abgeschlossenen Betriebsverträge eingetreten.

Um auch technisch nach jeder Richtung hin unabhängig zu sein, hat die Debeg das Recht zur Benutzung aller deutschen Patente für drahtlose Telegraphie der an der Gründung beteiligten Firmen für die deutsche Handelsschiffahrt erworben.

Daß die rücksichtslosen Monopolgelüste der Marconi-Company nun endlich radikal unterbunden sind, wenigstens für deutschen Verkehr, ist um so mehr zu begrüßen, als sowohl die enorme wissenschaftlich-technische Entwicklung wie die verkehrstechnische Förderung der heute unentbehrlichen Radiotelegraphie und Radiotelephonie zum weitaus größten Teil deutscher Intelligenz und Initiative zu danken ist.

Richtlinien der Pflanzengeographie.

Von **M. Rikli**, Zürich.

Es ist eine höchst auffällige, ja geradezu befremdende Tatsache, daß das Verständnis für pflanzengeographische Fragen und Forschungsmethoden so außerordentlich spät erwacht ist.

Durchblättert man ältere Herbarien aus dem XVII. und XVIII. Jahrhundert, so ergibt sich, daß neben dem Utilitätsprinzip, welches die Gewächse nur nach ihrer Verwendbarkeit für Ernährungs- und Heilzwecke, also nach ausschließlich praktischen Gesichtspunkten beurteilt, die Erkenntnis der Form die Sammler beherrschte. Daher enthalten die gewaltigen Folianten nur selten und zudem meistens nur sehr ungenügende Angaben über Standortsverhältnisse und Fundorte der eingesammelten botanischen Ausbeute. Ja noch mehr. Vielfach wurden die Pflanzen gar nicht in der freien Natur, sondern in botanischen Gärten, in Bauern- oder Pflanzgärten von Apothekern gesammelt. Meistens vermissen wir auch das Datum, unter dem die Pflanze eingelegt worden ist, und doch wäre dies insofern von Wert, als solche Angaben über den Entwicklungszustand der Vegetation in verschiedenen Jahren Aufschluß geben und gelegentlich sogar Prioritätsfragen zu entscheiden vermöchten. Auch der Name des Sammlers fehlt beinahe immer. Beim Durchgehen mehrerer Faszikel des im botanischen Museum der eidgenössischen technischen Hochschule in Zürich[1]) aufbewahrten Herbariums von *Johann Geßner* (1709—1790) aus der Mitte des XVII. Jahrhunderts habe ich keinen einzigen Standort verzeichnet gefunden. Und auch in dem aus dem Anfang des XVIII. Jahrhunderts stammenden, ebenfalls in Zürich aufbewahrten Herbarium von *Joh. Scheuchzer* (1684—1753) sind Fundortsangaben sehr spärlich.

Vom pflanzengeographischen Gesichtspunkte aus ist somit all die mühsame, in den alten Herbarien niedergelegte Arbeit nahezu wertlos. Es ist dies auch ganz besonders deshalb lebhaft zu bedauern, weil wir auf Grund sorgfältiger Mitteilungen über das einstige Vorkommen von Pflanzen ein besseres Bild über den Einfluß der fortschreitenden Kultur auf das Vegetationskleid Mitteleuropas uns zu machen in der Lage wären, als dies jetzt der Fall ist, wo man in Ermangelung von Belegpflanzen und zuverlässiger Literatur vielfach auf unsicherere Quellen angewiesen ist.

Nicht nur für Europa, auch für andere Länder, die erst viel später unter den Einfluß des Kulturmenschen und dadurch mit der übrigen Welt in Berührung gekommen sind, ist dieser Mangel sehr oft recht empfindlich. Die ersten brauchbaren Dokumente über die Flora von Grönland verdanken wir dem Arzt *J. M. Vahl*, dem Sohn des hervorragenden dänischen Botanikers *Martin Vahl*, der in den Jahren 1828—1836 das Land bereiste und dessen sorgfältig durchgearbeitetes und etikettiertes Herbarium eine Zierde des botanischen Museums der Universität Kopenhagen bildet. Alle früheren Forschungsreisenden bringen in ihren Sammlungen und Aufzeichnungen beinahe gar keine Standortsangaben oder dann nur solche, die viel zu allgemein gehalten sind, wie z. B. „gefunden in Grönland", und die daher zu eingehenderen pflanzengeographischen Studien keine Verwendung finden können. Dies gilt nicht nur für das älteste Grönländer Herbarium von *Paul Egede* (1734—1740 angelegt), sondern auch für die Sammlungen und Tagebücher der am Anfang des XIX. Jahrhunderts an der Westküste Grönlands vorgenommenen Studienreisen der Dänen *Wormskjold* und *Raben*, vom Kapitän *Hollböl* und dem Mineralogen *K. L. Giesecke.* [2]) Eine Reihe der von diesen Forschern aus Grönland mitgebrachten und offenbar dem Süden des Landes entstammenden Arten sind seither nie mehr aufgefunden worden, so z. B. *Epilobium collinum Gmel., Oxalis Acetosella L., Stellaria uliginosa Murray.* Vom *Ajuga pyramidalis L.* heißt es „only in the 60° N." Hierher gehört auch *Calluna vulgaris*, das aber im Katalog von *Giesecke* den Vermerk erhalten hat: „if it flourishes plentifully, the Greenlanders suppose, that the following winter will be very severe." [3]) Diese Notiz läßt beinahe vermuten, daß die Angabe auf einer Etikettenverwechslung beruht, denn bei einer derartigen Verbreitung und Bekanntschaft der Grönländer mit der Pflanze wäre dieselbe längst wieder aufgefunden worden. Jedenfalls hätte eine einigermaßen genauere Standortsangabe die Abklärung der Streitfrage wesentlich erleichtert.

Ja selbst bis weit in das XIX. Jahrhundert läßt die sachverständige Etikettierung der Herbarien noch vielfach sehr zu wünschen übrig. Für eine in jeder Hinsicht brauchbare Verwertung einer Belegpflanze bedarf es zum mindesten einer genauen Angabe von Standortsverhältnissen und Fundort, sowie des Sammlers und des Datums, unter dem die Pflanze eingelegt worden ist. Bei Gebirgspflanzen ist die Höhenangabe durchaus erforderlich. Wünschenswert sind ferner Notizen über Exposition, Begleitpflanzen und Vergesellschaftung; dazu kommen gelegentlich phänologische und blütenbiologische Beobachtungen.

Als Begründer der wissenschaftlichen Pflanzengeographie betrachtet man mit Recht *Alexander v. Humboldt* [4]) (1769—1859). Die beiden grundlegenden Werke „Essai sur la géographie des plantes" und „Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse" folgten sich innerhalb Jahresfrist (1805/06), unmittelbar nach der Rückkehr von seiner denkwürdigen, in den Jahren 1799—1804 mit *Aimé Bonpland* ausgeführten Reise nach

Süd- und Zentralamerika. Als Fortsetzung dieser Arbeiten, wissenschaftlich aber noch gründlicher und methodisch musterhaft durchgearbeitet, erschien 1815: „De distributione geographica plantarum secundum coeli temperiem et altitudinem montium prolegomena." In dieser Schrift finden wir eine große Menge neuer Gesichtspunkte, wie: eine Zusammenstellung der beiden Erdteilen gemeinsamen Arten, eine Vergleichung der Temperaturen beider Kontinente in verschiedener geographischer Breitenlage, Beobachtungen über den Einfluß der Höhenunterschiede auf die Pflanzenwelt und über die Vegetation in verschiedenen Zonen. Außerdem wurde der Versuch gemacht, die große Mannigfaltigkeit der Pflanzenformen auf wenige (17) Grundgestalten zurückzuführen und so dem Laien die Vorstellung seiner wirklich klassischen Vegetationsschilderungen fremder Länder nach Möglichkeit zu erleichtern.

Auch *Humboldt* hat seine Vorläufer gehabt, doch hebt *A. Engler* in den „Wissenschaftlichen Beiträgen zum Gedächtnis der hundertjährigen Wiederkehr des Antrittes von *Alexander v. Humboldts* Reise nach Amerika am 5. Juni 1799" ganz richtig hervor, daß trotzdem diesem Forscher das unvergängliche Verdienst bleibt, in der Kenntnis der die Verbreitung der Pflanzen bedingenden physikalischen Verhältnisse ebenso wie in der auf weiten Reisen gewonnenen Anschauungen, namentlich aber auch in der lebendigen, packenden Form der Darstellung seiner Zeit weit vorausgeeilt zu sein, und durch seine Arbeiten die wissenschaftliche und kulturelle Bedeutung der Pflanzengeographie ins helle Licht gesetzt zu haben.[5]) Und diesem Zeugnis des hervorragenden Berliner Gelehrten fügen wir noch dasjenige von *Ferdinand Freiherrn v. Richthofen*[6]) hinzu: „Beseelt von dem Trieb, die Erscheinungen der Erdoberfläche im einzelnen analytisch zu ergründen um ihren ursächlichen Zusammenhang im ganzen zu erfassen, vorgebildet durch ernste und vielseitige Studien, ausgerüstet mit der Gabe feinsichtiger Beobachtung, scharfsinniger Vergleichung und geistvoller Schlußfolgerung, vermochte es der jugendliche Meister, nicht nur eine glänzende Flut von Licht über vorher schwach erhellte Erdräume zu verbreiten und der chorologischen Forschung das erste, lange unerreicht gebliebene Vorbild zu schaffen, sondern auch der Wissenschaft von der Erdoberfläche methodisch neue Wege und neue Probleme zu erschließen."

Trotzdem wird es sich lohnen, noch kurz auf die ersten Anfänge pflanzengeographischer Erkenntnisse zurückzukommen. Die Weltgeschichte berichtet uns von einer ganzen Reihe von Taten, durch die Europas Kulturvölker zum erstenmal mit anderen Zonen in Berührung gekommen sind. Es liegt nahe anzunehmen, daß in solchen Zeiten der Vergleich der neu erschlossenen Länder mit der fernen Heimat auch zu pflanzengeographischen Fragen und Studien angeregt hat. Wir erinnern nur an den berühmten Zug *Alexander des Großen*[7]) nach Indien (326 v. Chr.), an die erste Bekanntschaft mit Inner- und Ostasien durch *Marco Polo* (1270—1290), an die Entdeckung Amerikas durch *Christoph Columbus* (1492), die wenige Jahre

später erfolgte Umschiffung des Kaps der Guten Hoffnung durch *Vasco da Gama* (1497) und endlich an die erste Landung des Portugiesen *Godinho de Eredia* in Australien, ganz am Anfang des XVII. Jahrhunderts.

Durch diese für die geographische Erforschung unseres Planeten so überaus bedeutungsvollen Entdeckungen wurde das Abendland mit einer stattlichen Zahl wichtiger Kulturpflanzen bekannt, die allmählich mehr und mehr Gemeingut der breitesten Volksschichten und später zum Teil sogar in einzelnen Teilen Europas in Kultur genommen wurden. Den Eroberungszügen Alexander des Großen verdanken wir die erste Bekanntschaft mit dem Reis und den Agrumen, beide gelangten jedoch erst viel später, durch die Araber, zu größerer Bedeutung. Von Ostasien erhielten wir auch den Rohrzucker, der bereits im I. Jahrhundert von *Dioscorides* und *Plinius* als seltenes Arzneimittel erwähnt wird. Kaffee [8]) war schon 1511 in Kairo bekannt und wurde seit 1554 in Konstantinopel getrunken. 1550 kommt die erste Nachricht über die Teepflanze nach Europa, doch erst 1638 findet der Teegenuß am russischen Hof in Moskau Eingang, um bald weiter nach Westen vorzudringen. [9]) Infolge der Entdeckung Amerikas kommen am Anfang des XVI. Jahrhunderts Mais und Tabak (1511), etwas später auch Kakao und die Kartoffel (ca. 1560) zu uns und um dieselbe Zeit gelangt von Sibirien über Moskau die Rhabarber in den Handel.

Durch die Einführung dieser und noch weiterer Nutzpflanzen fremder Erdteile ist in Europa die Lebenshaltung in mancher Hinsicht wesentlich bereichert und zudem auch sehr verändert worden. In der botanischen Literatur ist aber trotzdem diese Epoche nahezu spurlos vorübergegangen; alle diese Ereignisse vermochten die im Formalismus erstarrte und der Arzneikunde tributäre Botanik nicht auf eine neue fruchtbarere Bahn zu führen.

Es wäre jedoch ungerecht, die Leistungen dieser älteren Schule gar zu niedrig einzuschätzen. Vergessen wir nicht, eine Unmenge unbekannter Pflanzen kommen allmählich aus den neu entdeckten Gebieten nach Europa, teils in die Herbarien der alten Universitätsstädte, teils in die botanischen Gärten. Diese Arten stammten zum großen Teil aus neuen Gattungen oder gar aus bisher vollständig unbekannten Familien. Vielfach waren die Eingänge unvollständig, es fehlten Blüten oder Früchte. Da galt es zunächst das eingegangene Material zu sichten, in das Chaos Ordnung zu bringen und so die für jede pflanzengeographische Forschung absolut notwendige Grundlage — sorgfältige Florenkataloge größerer oder kleinerer Gebiete — erst zu schaffen. Wie gewaltig die zu bewältigende Arbeit war, können wir heute kaum mehr richtig beurteilen: es fehlten alle die Bestimmung wesentlich erleichternden, zuverlässigen Vergleichsmaterialien, es fehlte vielfach die notwendigste Literatur; eine Spezialisierung nach einzelnen Familien oder gar nach Gattungen, durch welche solche Arbeiten, besonders bei kritischen Gruppen so wesentlich erleichtert wird, kannte diese Zeit noch nicht. Jedermann sah sich daher genötigt, sich in die ganze

Formenfülle einzuleben. Die durch die heutigen Verkehrsmittel außerordentlich erleichterte Verbindung zwischen den einzelnen Gelehrten und Sammlungszentren war nicht vorhanden, daher war jeder Forscher mehr oder weniger auf sich selbst angewiesen, und vor allem fehlte die binäre Nomenklatur, durch welche die Identifizierung der Arten so sehr vereinfacht und bedeutend zuverlässiger geworden ist.

In den alten Kräuterbüchern von *L. Fuchs* (1543), *J. Th. Tabernaemontanus* (1588), bis auf *Th. Zwinger* (1744) findet man bald vereinzelte, bald häufigere Angaben über Verbreitung und Vorkommen der Pflanzen, doch handelt es sich immer nur um gelegentliche Beobachtungen und Bemerkungen. Ein Versuch, diese Daten nach allgemeinen Gesichtspunkten methodisch zu verarbeiten, wurde nicht gemacht.

Doch schon in der ersten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts lassen sich, wie *A. Engler*[10]) (Berlin) hervorhebt, die ersten Anfänge der Pflanzengeographie in der Literatur nachweisen. *Tourneforts* „Relation d'un voyage du Levant" (1717) bringt Bemerkungen über die Höhengliederung der Flora des Ararat. Auch der große *Linné* hat in seiner „Flora lapponica" (1737) und in der „Flora suecica" (1745) Angaben über Pflanzenformationen und Verbreitungsgrenzen einzelner Arten gemacht. *J. G. Gmelin* gibt im Vorwort zu seiner „Flora sibirica" (1747) Daten über die Verbreitung europäischer Pflanzen in Sibirien, über die nur in Sibirien auftretenden Arten, über die einzelnen Florenbezirken Nordasiens und über das Vorkommen derselben Arten auf den Hochgebirgen Europas und in den Ebenen Nordasiens. Diese denkwürdige, leider viel zu wenig bekannte Vorrede ist soeben in einer deutschen Bearbeitung zur Ausgabe gelangt.[11]) In Mitteleuropa gab *H. B. Saussure* bereits 1779 in seinem Werke „Voyage dans les Alpes" Höhengrenzen zahlreicher Alpenpflanzen.

Der bedeutendste Vorläufer Alex. v. Humboldts war aber ohne Zweifel *Karl Ludwig Willdenow* (1765—1812). Sein schon 1792 in erster Auflage erschienener „Grundriß der Kräuterkunde" enthält in einem besonderen Abschnitt: „Geschichte der Pflanzenwelt" bereits eine Fülle pflanzengeographischer Tatsachen. Das Werk erlebte bis 1831 sieben Auflagen. Bis zu seinem Tode war der Verfasser bestrebt, seine Ideen systematisch auszubauen; schon die zweite Auflage (1798) bringt gegenüber dem Erstlingswerk in mancher Hinsicht eine wesentliche Bereicherung. In einer ganzen Reihe von Kapiteln sucht Willdenow darzulegen, daß die Verbreitung der Pflanzen über den Erdball das Ergebnis einer allgemeinen Entwicklung sei, und daß das Klima auf Gestalt und auf die Areale der einzelnen Arten einen bestimmenden Einfluß ausübe. Ja, wir finden in diesen nur zu lange unbeachteten Schriften sogar Mitteilungen über die große Gleichartigkeit der Küstenfloren, über den Endemismenreichtum der Gebirge, über die weite Verbreitung der Wasserpflanzen, über Verbreitungsmittel, über Ähnlichkeiten der Flora Südafrikas und Australiens usw. Und dies alles bereits ein Jahrzehnt vor *Alexander v. Humboldt*; so dürfen wir *K. L. Willdenow* unmittelbar neben Humboldt stellen.

Nachdem durch diese beiden Väter der Pflanzengeographie der Botanik ein neues fruchtbares Feld eröffnet worden war, entwickelte sich die junge Wissenschaft außerordentlich rasch. Namen von bedeutendem wissenschaftlichen Ruf wie *Leopold v. Buch* (1810), *G. Wahlenberg* (1812), *Robert Brown* (1814) bereicherten bereits im zweiten Dezennium des vorigen Jahrhunderts durch mehrere in rascher Folge erschienene wichtige Arbeiten die pflanzengeographische Forschung mit einer Reihe fruchtbarer, neuer Gesichtspunkte. Bald war man in allen Kulturländern eifrig an der Arbeit.

Und wenn heute der botanische Forschungsreisende fremde Länder betritt oder der Monograph einen mehr oder weniger engbegrenzten Bezirk des heimatlichen Landes bearbeitet, so sind es in erster Linie wohl immer phytogeographische Fragen, die sich ihm aufdrängen und die ihm die Grundlinien zu seiner Arbeit liefern werden. Welche Beziehungen bestehen zwischen der Pflanze und dem Erdraum den sie besiedelt? Welche Gesetze bestimmen die absoluten Äquatorial- und Polargrenzen sowie die Höhenverbreitung der einzelnen Arten? Durch welche Momente werden der allgemeine Verlauf und die Detailgestaltung der verschiedenen Wald- und Baumgrenzen bedingt? Zeigen sich konstante Unterschiede in der Flora zwischen Nord- und Südlage? Wie vereinigen sich die Arten zu natürlichen Genossenschaften, die in so hohem Grade das Landschaftsbild beeinflussen? Welche Rolle kommt dem Boden bei der Verbreitung der Florenbestandteile zu? Welche Verbreitungseinrichtungen und Verbreitungsmöglichkeiten stehen jeder einzelnen Art zur Verfügung? Welche Beziehungen lassen sich zwischen einem gegebenen Florenbezirk und dessen Nachbargebiete nachweisen? Woher stammt unsere einheimische Pflanzenwelt? Ist sie autochthon, an Ort und Stelle aus anderen verschwundenen Typen hervorgegangen oder von fremden Gebieten zu uns eingewandert? Und sollte das letztere zutreffen, so ergibt sich sofort die andere Frage: Welches waren dann ihre Einwanderungsbahnen und zu welchen Zeiten sind die einzelnen Arten zu uns gelangt? Wie erklärt sich die Tatsache, daß einzelne Spezies über gewaltige Gebiete verbreitet sind, andere dagegen wieder sehr enge, oft fast punktförmige Areale aufweisen? Welches sind die Ursachen des Endemismus? Wie sind die einzelnen Florengebiete am naturgemäßesten abzugrenzen? Diese und viele andere Fragen stürmen auf uns ein. Sie sind zum Teil gelöst, zum Teil harren sie jedoch noch der methodischen Bearbeitung.

Diese wenigen Andeutungen mögen genügen, um die wissenschaftliche, kulturelle und allgemein bildende Bedeutung der Pflanzengeographie darzulegen, als eines Forschungzweiges, der nicht nur den Fachbotaniker fesseln wird, sondern auch vielfach Fragen von allgemeinstem Interesse erörtert, deren Kenntnis mehr und mehr Gemeingut des gebildeten Laien werden sollte.

An den Forscher stellt dagegen die Phytogeographie sehr hohe Anforderungen. Damit er nur Gleiches mit Gleichem vergleicht, verlangt sie

vor allem eine tüchtige systematische Schulung, verbunden mit möglichst umfangreichen Formenkenntnissen. Dies ist die unverrückbare Grundlage, auf der sich unsere Disziplin aufbauen muß. Unbedingt fordert sie ferner eingehende ökologische und physiologische Studien. Auch mit den Pflanzentypen der Vorwelt sollte der Phytogeograph wenigstens einigermaßen vertraut sein. Seine Forschungen werden zudem vielfach in das Gebiet der Meteorologie und der historischen Geologie hinübergreifen, und die Verbreitungsprobleme berühren öfters zoogeographische und ozeanogeographische Fragen.

Die Phytogeographie sucht mithin die Beziehungen zwischen der Pflanzenwelt und dem von ihr besiedelten Raum und dessen Mitbewohnern ökologisch und genetisch klarzulegen. Ihr letztes Ziel ist die Erkenntnis der pflanzlichen Besiedlungsgeschichte der Erde: die Feststellung der Bildungszentren der jetzigen Flora; der Nachweis der oft so verwickelten Wanderungsbahnen der einzelnen Florenelemente und die Klarlegung der Beziehungen des jetzigen Pflanzenkleides der Erde zu der Flora der Vorwelt.

Um all diesen Aufgaben gerecht zu werden, gliedert die junge Wissenschaft den zu bewältigenden gewaltigen Stoff in drei Hauptabschnitte.[12]) In:

1. Floristische Pflanzengeographie. Ihr fällt die Aufgabe zu, in sorgfältigster Weise die Materialien, auf die sich alles aufzubauen hat, zu sammeln, zu sichten und nach ihrem Wert zu klassifizieren. So entstehen zunächst Florenwerke, die dazu dienen können, die einzelnen Florengebiete möglichst naturgemäß zu umgrenzen und ihren Florenbestand miteinander zu vergleichen.

2. Die ökologische Pflanzengeographie erörtert die Wechselbeziehungen eines klimatisch einheitlichen Erdenraumes zu ihrer Pflanzenwelt und den Aufbau derselben zu sozialen Einheiten, den Formationen.

3. Die genetische Pflanzengeographie sucht endlich auf Grund der von der floristischen und ökologischen Richtung und den Hilfsdisziplinen der Pflanzengeographie festgestellten Tatsachen, den historischen Werdegang der heutigen Pflanzendecke der Erde darzulegen und die Erscheinung der verschiedenen Arealumgrenzung der einzelnen Arten zu erklären. Das Endergebnis aller drei Richtungen führt zu einer pflanzengeographischen Gliederung der Erde, das heißt zur Abgrenzung der Florenreiche und ihrer Unterabteilungen.

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, unsere Betrachtung nach diesen weitumfassenden Gesichtspunkten aufzubauen; es würde dies weit über den Rahmen dieser Abhandlung hinausgehen. Unter besonderer Berücksichtigung der außertropischen Florengebiete und der neueren Literatur sollen die Arbeitsmethoden und Richtlinien der Pflanzengeographie, hauptsächlich an Hand der pflanzengeographischen Faktoren und einzelner Beispiele erörtert werden. Als pflanzengeographische Faktoren bezeichnen wir alle diejenigen außerhalb und innerhalb der Pflanze gelegenen

Einflüsse, welche einerseits bei der Ausbreitung der Arten vom ursprünglichen Bildungsherd aus in Betracht kommen und andrerseits bei eintretenden Veränderungen des Milieus der Pflanze ermöglichen, den einmal besiedelten Standort zu behaupten bzw. nach ihr zusagenden Gebieten auszuwandern. Wir unterscheiden folgende Abschnitte:

1. die Wärme,	4. der Wind,	7. die Individualität,
2. die Feuchtigkeit,	5. die Bodenbeschaffenheit,	8. das Wohngebiet,
3. das Licht,	6. die Organismenwelt,	9. die Zeit.

I. Die Wärme.

Die Erwärmung der Atmosphäre hängt bekanntlich von der Dauer und dem Einfallwinkel der Sonnenstrahlung, von dem Bewegungszustand und dem Wasserdampfgehalt der Luft bzw. von dem Auftreten warmer Winde, d. h. von der Zufuhr von Wärme aus anderen Gebieten ab. Bei der an Ort und Stelle durch die Sonnenstrahlung erzeugten Wärme werden die höchsten Temperaturen bei ruhender, trockener Luft und absolut höchstem Sonnenstand in den Tropen und Subtropen erreicht. Aus kosmischen Gründen muß mit zunehmender Breitenlage eine sukzessive Wärmeabnahme und die allmähliche Ausbildung eines jahreszeitlichen Wärmewechsels stattfinden. In ähnlicher Weise wie vom Äquator zum Pol nimmt die Wärme auch vom Tiefland nach dem Hochgebirge ab.

Da nun die Pflanzen thermisch sehr verschieden abgestimmt sind, wird diese verschiedene Wärmeverteilung der Erdoberfläche zu einer pflanzengeographischen Sonderung der Areale führen müssen. Für die einzelnen Stoff- und Kraftwechselvorgänge bedarf jede Art ganz bestimmter Wärmemengen; für jede Funktion gibt es, unter Annahme der Gleichheit der übrigen äußeren Verhältnisse, eine untere und eine obere Wärmegrenze sowie eine Temperaturgröße, bei welcher der Prozeß die größte Aktivität zeigt. Eine vorübergehende Kältestarre tritt in den Bewegungsorganen der *Mimosa pudica L.*[13]) unter sonst günstigen Bedingungen schon ein, wenn die Temperatur der umgebenden Luft einige Stunden unter 15° C verweilt; je tiefer die Temperatur unter 15° C sinkt, desto rascher erfolgt der Eintritt des Starrezustandes. Zuerst verschwindet die Reizbarkeit für Erschütterung und Berührung, später auch die für Lichteinwirkung. Vorübergehende Wärmestarre tritt in feuchter Luft bei 40° C innerhalb einer Stunde, bei 49—50° C schon nach wenigen Minuten ein.

Auf zahlreiche tropische Pflanzen wirken schon niedere, aber immerhin noch einige Grade über Null stehende Temperaturen abtötend. Über diese, für die Verbreitungsfrage wichtige Tatsache verdanken wir *H. Molisch* in Prag eingehende Untersuchungen. Wohl das bekannteste Beispiel ist die in Kolumbien heimische *Gesneracee*, *Episcia bicolor Hook.*, die bei einer Temperatur unter + 5° C zugrunde geht. Bei Einwirkung dieses Wärmegrades zeigen die Blätter schon nach 18 Stunden, mitunter noch früher,

zahlreiche braune Flecken. Die Pflanze sieht wie vergiftet aus; nach fünf Tagen sind die Blattspreiten abgestorben. In der zitierten Abhandlung erwähnt *Molisch* 28 verschiedenen Familien angehörige Arten, die bei längerer Einwirkung von Temperaturen von + 5 bis + 1° C eingehen. Die Empfindlichkeit und das Verhalten der einzelnen Arten diesen niederen Temperaturen gegenüber ist sehr verschieden. Eine sehr kälteempfindliche Pflanze ist die Acanthacee *Eranthemum tricolor Nichols* Westindiens, welche nach 48 Stunden die ersten Schädigungen zeigt und bereits nach 4—5 Tagen abstirbt. Bei *Peperomia argyreia Moor.* (Piperacee) sterben die Blattstiele häufig vor der Blattspreite ab. Bei *Boehmeria argentea* Linden (Urticacee) sterben unter Bräunung die Knospenblätter zuerst ab, erst später die ausgewachsenen Blattorgane, und die Composite *Uhdea bipinnatifida Knuth* hält sich die ersten 14 Tage scheinbar gut, verfällt dann aber geradezu plötzlich, so daß sie am sechszehnten Tage eingegangen ist. Noch weniger empfindlich ist *Eranthemum nervosum R. Br.*, die erst nach 20 Tagen die ersten Veränderungen zeigt, um zwischen dem 30. und 35. Versuchstag mit abgestorbenen Blattspreiten dazustehen. So läßt sich in bezug auf die Kälteempfindlichkeit dieser interessanten tropischen Pflanzen eine ganze Stufenleiter aufstellen. Nah verwandte Arten verhalten sich oft sehr verschieden, die Folge zeigt sich in der verschiedenen Arealumgrenzung.

Die individuelle Empfindlichkeit der einzelnen Arten gegen Kälte hängt aber bekanntlich sehr vom augenblicklichen Entwicklungsstadium der Pflanze ab. Gewächse in lebhafter vegetativer Tätigkeit, wie z. B. Bäume während des Safttriebes, sind in viel höherem Grade gefährdet als solche, deren Wachstum zeitweise abgeschlossen ist. Der Kältepol Eurasiens liegt noch im Waldgebiet. Für Werchojansk an der Jana in Ostsibirien wird unter 67° 43′ N. als absolutes Minimum — 69·8° C [15]) angegeben, eine Temperatur, die von den Bäumen jener Gegend noch ohne Schaden ertragen wird. [16])

Ein vorzügliches Mittel, abnorm hohen oder sehr niederen Temperaturen aber auch exzessiver Trockenheit zu widerstehen, ist deren Überdauerung im Samenstadium. *Raoul Pictet* [17]) erzielte mit flüssiger Luft Temperaturen von — 200° C (1893) und *W. Th. Thiselton-Dyer* [18]) mit Hilfe von flüssigem Sauerstoff sogar — 250° C (1899), dies sind Temperaturen, die weit unter dem absoluten Minimum liegen, das für Samen an irgend einem Punkt der Erdoberfläche eintreten kann. Gewisse lufttrockene Samen vermögen aber trotzdem solche abnorm tiefe Temperaturen, wenigstens auf kürzere Zeit, ohne Schaden zu ertragen. Sogar Samen von *Avena* und *Triticum* erwiesen sich nach 118 Tagen, nachdem sie von *Casimir de Candolle* [19]) einer Temperatur von — 35 bis — 57° C ausgesetzt waren, noch keimfähig. Mit zunehmendem Wassergehalt der Samen nimmt die Widerstandsfähigkeit allerdings rasch ab. Es ist sehr zu bedauern, daß bisher über diese wichtigen Fragen so wenig positive Beobachtungen vorliegen. Die hochalpine und arktische Flora scheint in dieser Hinsicht noch kaum untersucht worden zu sein. Für den Pflanzengeographen sehr

wertvoll wären auch Daten über die mit den Entwicklungsstadien wechselnde Widerstandsfähigkeit gegen tiefe Temperaturen.

In Anbetracht der großen Frosthärte der Samen sollte man erwarten, daß Pflanzen, die periodisch sehr niederen Temperaturen ausgesetzt sind, also besonders alpine und hocharktische Gewächse, die Kälteperioden jeweilen vorzugsweise im Samenstadium überdauern werden, indessen ihre vegetativen Teile zugrunde gehen. Dieser Auffassung widerspricht aber bekanntlich die Erfahrung, die uns lehrt, daß sowohl in der Arktis als im Hochgebirge die Zahl der einjährigen Arten mit zunehmender Breitenlage bzw. Meereshöhe rasch abnimmt. *G. Bonnier* und *Ch. Flahault*[20]) haben in den französischen Westalpen (Dauphiné, Oisans) an zahlreichen Gattungen die Abnahme der einjährigen Arten im Gebirge verfolgt.

Sie sind zu folgenden Ergebnissen gekommen:

Zwischen	200— 600 *m*	Meereshöhe	finden sich 60%	Einjährige
„	600—1800 „	„	nur noch 33%	„
über	1800 „	„	aber sogar nur 6%	„

Und nach *O. Heers* „Nivalflora“ hat die Hochalpenregion über 2600 *m* nur 3·8% annueller Arten. Oberhalb 3250 *m* fehlen die Einjährigen fast ganz. Nach *Ed. Rübel*[21]) sind sie im Berninagebiet über dieser Höhenquote nur noch durch *Euphrasia minima Jacq.* vertreten. Ganz ähnlich verhält sich der hohe Norden. Unter den 123 Gefäßpflanzen Spitzbergens zählt man nur 2 typische Sommerpflanzen: *Gentiana tenella Rottb.* und *Königia islandica L.* Ja noch mehr. Vielfach kann man beobachten, wie einjährige Ebenenpflanzen im Gebirge zweijährig: *Cardamine hirsuta L.*, *Ajuga chamaepitys (L.) Schreb.*, *Senecio rupester W. et K.*, *S. vulgaris L.* oder sogar ausdauernd werden: *Poa annua L. v. supina (Schrad.) Rchb.*, *Viola tricolor L. v. alpestris DC.* In Spitzbergen verhalten sich *Ranunculus pygmaeus Wahlb.*, *Cochlearia fenestrata R. Br.*, *Sagina nivalis Lindbl.*, *Saxifraga nivalis L.* und *Phippsia algida R. Br.* ähnlich. Es sind dies Arten, die in guten Jahrgängen einjährig sind, bei ungünstigen Verhältnissen aber zweijährig oder gar ausdauernd werden. Spitzbergen besitzt mithin nur 1·6% bzw. unter Einschluß der letzten fünf Arten 5·6% einjähriger Arten. Und unter den ca. 60 Spezies, die im äußersten Norden von Grönland den 80° N. überschreiten, finden sich nur noch zwei (3·3%), und zwar nur fakultativ einjährige Arten, nämlich *Androsace septentrionalis L.* und *Phippsia algida R. Br.*

Wenn Polarpflanzen und Oreophyten somit den einfachen Weg der Überdauerung der jährlichen Kälteperiode durch Samen kaum wählen, so muß dieses seinen ganz bestimmten Grund haben. Unter allen Lebensprozessen erfordert bekanntlich keiner so viele Kalorien, wie derjenige der Fruchtreife, die bei den meisten Arten erst dann vor sich geht, wenn alle anderen vegetativen und reproduktiven Vorgänge des jährlichen Vegetationszyklus längst abgeschlossen sind. Die in beiden Gebieten der Pflanze zur Verfügung stehende Wärme reicht sehr oft nicht zur Ausreifung der Samen, ja

zuweilen sogar nicht einmal mehr zur Entfaltung der Blüten aus, so daß viele Arten fast ausschließlich auf vegetative Vermehrung angewiesen sind, und nur nach langen Pausen in ausnahmsweise günstigen Jahrgängen zur Samenreife gelangen. Unter diesen Umständen ist es verständlich, daß einjährige Sommerpflanzen in diesen Gebieten fast unmöglich sind, denn ein einziger, ausnahmsweise kalter Sommer müßte deren Aussterben zur Folge haben. Nur Arten mit minimalen Wärmeansprüchen, bei denen die Temperaturschwellen der Auslösung der verschiedenen Lebensprozesse sehr niedrig und nahe beieinander liegen und die im Notfall zweijährig oder sogar ausdauernd werden könnten, dürfen es wagen, in den genannten Kältegebieten im Zustande der Einjährigkeit zu verharren.

Beim Studium der Wärme als phytogeographischer Faktor hat sich der Botaniker zuerst ausschließlich an die von der Meteorologie gelieferten Daten gehalten, und auch heute ist die Pflanzengeographie dieser Hilfswissenschaft immer noch viel zu sehr tributär.

Eine einfache Betrachtung lehrt aber, daß die üblichen Angaben der meteorologischen Stationen nur in sehr bedingter Weise für den Botaniker direkt verwertbar sind. Es ist dies einzig in Gebieten mit kontinuierlicher Vegetationstätigkeit der Fall, in denen die Temperatur während des ganzen Jahres gleichmäßig hoch ist und nie unter den Nullpunkt sinkt. Zudem muß aber noch verlangt werden, daß die Gewächse, deren Wärmebedürftigkeit studiert werden soll, sich wenigstens zwei Meter über die Erdoberfläche erheben, weil sonst die rückstrahlende Erdwärme die der Meteorologie entnommenen Temperaturen zu sehr beeinflussen und verändern würde, so daß dieselben gar nicht mehr vorhanden sind. Diese Voraussetzungen treffen beinahe nur für die Busch- und Waldvegetation der feuchten Tropen und Subtropen zu. Für alle anderen Gebiete muß der Botaniker die Klimatologie seinen speziellen Zwecken dienstbar machen, sei es, daß er aus den meteorologischen Tabellen die notwendigen Daten sorgfältig auswählt bzw. verarbeitet, sei es, daß er mit verifiziertem Präzisionsthermometer ausgerüstet selbst im Felde beobachtet.

Da für jeden Ort innerhalb einer längeren Beobachtungsperiode das jährliche Mittel aus sämtlichen Tagestemperaturen ziemlich konstant ist, so hat die Meteorologie von je her auf die Feststellung der mittleren Jahrestemperatur großen Wert gelegt. Schon ein flüchtiger Blick auf die Jahres-Isothermenkarte der Erde, z. B. an Hand von *J. Hanns* Bearbeitung in Berghaus Physikalischem Atlas, Bl.-Nr. 27 (ed. 1887), zeigt jedoch, daß vom pflanzengeographischen Standpunkt die mittlere Jahrestemperatur nur eine sehr untergeordnete Bedeutung besitzen kann. Wählen wir den Verlauf der Isothermen von + 22° C, + 10° C und — 10° C. Erstere durchquert in Amerika die Wüstensteppen des nördlichen Mexikos und die üppigen Waldgebiete Floridas und in der alten Welt folgt sie den nördichen Randgebieten der Sahara bis Kairo und Suez, wendet sich nach Bagdad und durch die Wüsten Zentralpersiens nach dem Tibet (etwas

südlich von Lhassa), um die ostasiatische Küste bei Kanton zu erreichen und die Insel Formosa, annähernd in ihrer Mitte, zu durchschneiden. Welche Gegensätze vereinigt nicht schon in Europa die Jahresisotherme von + 10° C. Sie durchzieht Irland und berührt Wien und Odessa. Dort treffen wir noch einige Vertreter der Mittelmeerflora, wie den Erdbeerbaum *(Arbutus unedo L.)*, das Venushaar *(Adiantum Capillus Veneris L.)*, die mediterrane Heide *(Erica mediterranea L.)*; die Myrte hält sich im Freien, aber der Sommer ist so kühl, daß der Weinstock seine Frucht nicht reift. In Südrußland dagegen bringt der Winter große Kälten (Odessa, Januarmittel — 3,7° C) und viel Schnee, doch im Sommer reift die Melone. Noch auffälliger ist der Verlauf der Jahresisotherme von — 10° C. Ihr Polarpunkt liegt im hocharktischen Gebiet, nördlich von Spitzbergen bei ca. 81° N.; der Äquatorialpunkt aber bei Jakutsk, mitten im ostsibirischen Urwald.

Sehr instruktiv ist auch die folgende Zusammenstellung der Nord- und Südpunkte einiger Isothermen der nördlichen Hemisphäre der alten Welt:

Jahres-Isotherme von	Südpunkt	Nordpunkt	Differenz
+ 20° C	bei ca. 26° N.	ca. 38° 30′ N.	$12^1/_2$ Breitegrade
+ 15° C	„ „ 34° N.	„ 44° N.	10 „
+ 10° C	„ „ 39° N.	„ 54° N.	15 „
+ 0° C	„ „ 49° 40′ N.	„ 72° 40′ N.	23 „
— 10° C	„ „ 62° N.	„ 81° N.	19 „

Sämtliche Südpunkte liegen im kontinentalen Asien; die Nordpunkte verschieben sich bei abnehmender mittlerer Jahrestemperatur von Westasien nach Westeuropa und Spitzbergen. Aus all diesen Daten ergibt sich mit voller Deutlichkeit, daß die Jahres-Isothermen keineswegs Gebiete mit ähnlicher oder gar mit gleicher Vegetation miteinander verbinden.

Von viel größerem Einfluß auf die geographische Verbreitung der Arten sind einige andere thermische Werte, nämlich:

Die mittlere Temperatur und ihre Verteilung während der Vegetationsperiode. Die Vegetationstätigkeit kann entweder durch Kälte oder durch Trockenheit periodisch unterbrochen werden. In beiden Fällen treten die Gewächse in ein latentes Lebensstadium, in denen alle Funktionen auf ein oft kaum meßbares Minimum herabsinken. Für den Haushalt der Pflanze fallen diese Perioden außer Betracht. Für sie kommt nur die Wärmemenge und ihre Verteilung während der Vegetationsperiode in Frage.

Noch vor zwei bis drei Dezennien hat man sich die Beziehungen zwischen Wärme und Pflanzenleben viel einfacher vorgestellt, als dies heute der Fall ist. Die Phänologie nahm einen direkten und unveränderlichen Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Pflanzen und der auf sie einwirkenden Wärmemengen an. So kam man zur Aufstellung der Wärmesummen, das heißt der Summen der mittleren oder auch der höchsten täglichen Temperaturgrade von der Aussaat bis zur Samenreife.

So bei annuellen Arten. Bei ausdauernden Gewächsen und Holzpflanzen wählt man als Ausgangspunkt den Tag, an dem das Insolationsmaximum zum ersten Mal über den Nullpunkt steigt. Diese Summen sollen für jede Art und unter jedem Klima konstant sein, oder mit anderen Worten: niedere Temperaturen lösen länger andauernd dieselben phänologischen Vorgänge aus wie höhere Wärmegrade bei wesentlich kürzerer Zeit. *H. Hoffmann*[22]) in Gießen hat sich in den siebenziger und achtziger Jahren sehr eingehend mit diesen Fragen abgegeben und die „thermischen Konstanten" von einer großen Zahl von Arten unserer mitteleuropäischen Flora festzustellen versucht, sie beträgt z. B. in Celsiusgraden für das Stäuben der Kätzchen von Haselnuß 266°, bei *Alnus incana* 308°, *A. glutinosa* 576°, *Salix caprea* 766°, Blütenentfaltung von *Prunus spinosa* 1137°, *Prunus Cerasus*, Belaubung 1254°, erste Blüten 1196°, Birnblüte 1234°, Laubentfaltung der Buche 1254°, erste Apfelblüten 1337°, Blattentfaltung von *Robina pseud-accacia* 2168°, Sommerweizen (Blüte) 2668°, Fruchtreife der Heidelbeere 3029°, von *Prunus Cerasus* 3056°, vom Winterkorn 3218°, der Preißelbeere 3661°, von *Cucumis sativa L.* 4058° usw.

So einfach liegen die Verhältnisse jedoch nicht. Gegen diese Auffassung spricht schon die Tatsache, daß viele Samen erst einer längeren Samenruhe bedürfen, ehe sie durch Wärmewirkung zu keimen vermögen. Auch die sog. „Spätlinge", Pflanzen, die unter gleichen Verhältnissen lebend gegenüber den gleichen Arten ihrer Umgebung in der Entwicklung stark zurückbleiben, sollten zur Vorsicht mahnen. So sah ich gegen Ende Mai 1900 im korsischen Gebirgsland am Col de Foce bei Vizzavona[23]) mitten im belaubten Buchenwald hin und wieder noch einzelne, vollständig kahle oder eben erst das zarte Laub entfaltende Stämme. Die Untersuchungen von *J. Sachs* und *F. W. Schimper*[24]) haben ergeben, daß nicht nur jede einzelne Funktion ihre eigenen Grenzwerte und bei einer bestimmten Temperatur ihre größte Leistungsfähigkeit hat, sondern daß diese Werte nicht absolut sind, indem sie sehr durch Lichteinwirkungen, Feuchtigkeitsverhältnisse, Bodenwärme, Nachwirkungen aus früheren Vegetationsperioden oder Standorten usw. beeinflußt werden. Daß jede Pflanze den Temperaturverhältnissen ihres natürlichen Standortes bis zu einem gewissen Grade angepaßt ist, ergibt sich aus der Erfahrung der Land- und Forstleute über die Provenienz der Samen. Schon *H. Hoffmann*[25]) hat entsprechende Versuche ausgeführt. Aus Samen der Goldrute *(Solidago Virga-aurea L.)* vom Riffelhaus (2570 *m*) und vom Zermatt (1624 *m*), im Herbst 1884 in Gießen ausgesät, erzielte er daselbst 1886 folgende Blütezeiten und Temperatursummen:

Blütezeit der Samen vom Riffelhaus am 7. Juni mit der Temperatursumme von 2238°; Blütezeit der Samen vom Zermatt am 13. Juni mit der Temperatursumme von 2473°.

Wilde Pflanzen aus der Umgebung von Gießen blühten erst am 26. Juli, nachdem ihnen eine Temperatursumme von 3577° zur Verfügung gestanden hatte.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen ergab sich: Im allgemeinen haben sich in höheren Breiten und im Hochgebirge die Pflanzen einer geringeren, in südlichen Ländern einer höheren Temperatursumme angepaßt. Im Norden oder im Hochgebirge erzeugte Pflanzen eilen daher, da ihre Temperaturanforderungen rascher befriedigt werden, nach Süden oder in das Tiefland versetzt den hier erzeugten Pflanzen voraus; umgekehrt bleiben südliche Pflanzen oder Gewächse der Ebene, nach Norden oder ins Hochgebirge verpflanzt, in ihren Vegetationsphasen gegenüber denselben, aber in diesen Gebieten heimischen Pflanzen, zeitlich zurück.

Cieslar[26]) (1895) und neuerdings *Arnold Engler*[27]) in Zürich (1905) kommen auf Grund von Kulturversuchen forstlicher Holzgewächse zu ähnlichen Ergebnissen über die Bedeutung der Provenienz der Samen. Die aus Gebirgssamen gezüchteten Fichten treiben beim Anbau in Tieflagen etwas früher als die Tieflandsfichten, schließen dagegen ihr jährliches Höhenwachstum bedeutend früher ab. Die jährliche Wachstumsperiode der Hochgebirgsfichten ist also kürzer als jene der Tieflandsfichten. Aber nicht nur die Dauer der jährlichen Wachstumsperiode, sondern auch die verschiedenen Kardinalgrade der Wachstumstemperaturen sind für Tieflands- und Hochgebirgsfichten verschieden. Die Anpassungen ihrer Lebensfunktionen an bestimmte Temperaturen und noch andere Eigentümlichkeiten werden auf die Nachkommen vererbt. Es sind dies biologische Unterschiede, die morphologisch am Fichtensamengut selbst absolut nicht zu erkennen sind. Tiefland- und Hochgebirgsfichte sind somit nicht identisch, es sind „klimatische Formen" oder nach der Auffassung Cieslars „physiologische Varietäten", deren Entstehung wohl in erster Linie auf die verschiedenen Wärmeverhältnisse, die im Tiefland und Hochgebirge herrschen, zurückzuführen sind. Es ist für Wissenschaft und Praxis wichtig zu erfahren, ob die Gebirgs- und Tieflandscharaktere der beiden Holzarten sich während des ganzen individuellen Lebens der Pflanzen und vielleicht durch Generationen hindurch erhalten, oder ob sie nach und nach verschwinden, wenn man Gebirgs- und Tieflandspflanzen außerhalb ihrer Heimat anbaut.

1909, nachdem die Pflanzung zehnjährig war, ergab sich folgendes Bild: Was die Benadelung anbetrifft, so haben die Gebirgsfichten in den tief gelegenen Kulturorten ihre besonderen Eigentümlichkeiten verloren; dagegen sind die Unterschiede der beiden Provenienzen im Wachstum genau dieselben geblieben. Dazu kommt noch, daß die Gebirgsfichten sich von den Tieflandsfichten durch dichte, buschige Verzweigung und schlankeren Wuchs vorteilhaft auszeichnen. Fichten des Tieflandes, die in Hochlagen angebaut werden, zeigen geringere Verzweigung und breite, niederere Gestalt und sind in viel höherem Maße Bruchschädigungen durch Schnee und Wind ausgesetzt. Es sind also gewisse innere Anlageverschiedenheiten zwischen Hoch- und Tieflandsfichten vorhanden, die in der ersten Generation keine Veränderung erleiden.

Um zu erfahren, ob die besonderen Eigentümlichkeiten der Hochgebirgs- und Tieflandsfichten auch auf die folgende Generation übergehen,

säte *Engler* Samen von Gebirgsfichten, die in tiefen Lagen, und solche von Tieflandsfichten, die in Hochlagen angebaut worden waren, aus. Alle Versuchsserien ergaben übereinstimmend das Resultat, daß die Abkömmlinge der in Hochlagen angebauten Tieflandsfichten sich in bezug auf ihr Wachstum genau wie Tieflandsfichten verhalten und umgekehrt. Das längere Verweilen einer Provenienz in der Höhenlage der anderen Provenienz scheint also auf das Keimplasma keinen Einfluß ausgeübt zu haben. Diese Versuche sind vom Standpunkt der Frage der Vererbung erworbener Eigenschaften auch für die Pflanzengeographen hoch interessant. Im gegenwärtigen Stadium der Versuchsreihen ist die Frage noch offen, immerhin ist es höchst wahrscheinlich, daß äußere Einflüsse die genotypische Grundlage, d. h. das Keimplasma beeinflussen können. Die definitive systematische Wertschätzung dieser Abweichungen wird vom weiteren Ergebnis der angelegten Kulturen abhängen.

Wie außerordentlich verwickelt das Problem des Einflusses der Wärme auf die Verbreitung der Arten ist, soll noch an Hand von *Calluna vulgaris (L.) Hull*, der gemeinen Heide, gezeigt werden.[28]) Wie viel Wärme läßt diese Pflanze am Südfuß der Alpen scheinbar unbenutzt? Nach *Hull* blüht sie im nördlichen Lappland durchschnittlich am 15. August, zu einer Zeit, wo die mittlere Tagestemperatur 11° C beträgt und etwa 2½ Monate nach Beginn der Vegetationsperiode, nachdem sie erst eine Wärmesumme von ca. 850° C erhalten hat. Um Görz gelangt Calluna im Mittel Ende Juli, öfters sogar erst Anfang August zur Blüte, die mittlere Tagestemperatur beträgt alsdann 23° C und die Heide braucht hier, um das Blütenstadium zu erreichen (vom ersten Tagesmittel über dem Nullpunkt) mindestens sechs Monate; sie hat in dieser Zeit eine Wärmesumme von ca. 2600° C empfangen, indessen sie im nördlichen Lappland schon mit einem Drittel dieser Wärmemenge die Anthese erreicht. Bereits im südlichen Lappland blüht Calluna genau zur gleichen Zeit wie in Görz, im südlichen Schweden sogar drei Wochen früher.

Nach diesen Erfahrungen wird man auf die Wärme allein nicht zu viel Gewicht legen dürfen: sie bildet zwar einen sehr wichtigen, aber eben doch nur einen, unter neun phytogeographischen Faktoren.

Für die Niederungen und das Hügelland der gemäßigten Zone würde ich zur thermischen Charakterisierung einer Art verlangen:

1. Die mittlere Temperatur während der Vegetationsperiode, und zwar von der Nord-, Süd-, West- und Ostgrenze ihres natürlichen Areals.

2. Die mittleren täglichen Temperaturschwankungen und die mittleren Schwankungen zur Zeit des Laubausschlages, der Blüteperiode, der Fruchtzeit und des Laubfalls.

3. Die absoluten Wärmeschwankungen.

Auf Grund dieser Daten gelangt man zur Umgrenzung des pflanzengeographischen Wärmeareals der einzelnen Arten, diese sind nicht zu verwechseln mit den physiologischen oder absoluten Wärmearealen, d. h. mit den Gesamtgebieten, innerhalb deren die Kultur einer

Pflanze im Freien und ohne zeitweise Bedeckung möglich ist. In der Kultur werden, allein schon durch das Ausschalten der Konkurrenz, Verhältnisse geschaffen, die ganz wesentlich von der freien Natur abweichen. Doch darüber an anderer Stelle.

Ganz eigenartig liegen endlich die Verhältnisse im hohen Norden bzw. in den höheren Regionen der Hochgebirge und Hochländer. Hier ergeben sich Vegetationsperioden von nur zwei bis drei Monaten, zudem mit mittleren Monatstemperaturen, die nur wenig über dem Nullpunkt liegen, so daß es unter Zugrundelegung der von der Meteorologie gelieferten Daten physiologisch unverständlich ist, wie unter solchen Bedingungen höheres Pflanzenleben überhaupt noch möglich ist.

Wählen wir zur Veranschaulichung dieser Tatsache einige hocharktische Stationen.[29])

S	Breitenlage	Mittlere Monatstemperaturen in Celsiusgraden					Mittel der Vegetationsperiode (VI—VIII)
		V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	
1. Gydabusen (Sibirien)	72° 20′ N.	— 8·6	— 1·5	+ 1·3	+ 1·7	— 1·7	+ 0·5
2. Sagastyr (Sibirien) .	73° 24′ N.	— 9·6	0	4·6	2·9	0·2	+ 2·5
3. Barrowstraße (arktisches Nordamerika) . .	74° 4′ N.	— 10·6	0·4	3·1	1·6	— 6·1	+ 1·7
4. Insel Sabine (NO.-Grönland)	74° 32′ N.	— 5·4	2·3	3·3	0·7	— 4·3	+ 2·1
5. Insel Lychow (Neusibirische Inseln) . . .	ca. 75° N.	— 11·5	0	3·7	1·1	— 2·4	+ 1·6
6. Cap Thordsen (Spitzbergen)	78° 28′ N.	— 5·1	1·8	4·4	4·6	— 1·4	+ **3·6** (Max.)
7. C. Flora (Franz Joseph-Land)	79° 56′ N.	— 8·5	— 0·4	1·3	0·2	— 4	+ **0·36** (Min.)
8. Fort Conger (Grantland) . . . . N.	81° 44′ N.	— 8·1	0·6	2·7	0·8	11·7	1·37

Sehen wir vom C. Thordsen auf Spitzbergen, das noch unter dem Einfluß des Golfstromes steht und dessen sommerliches Temperaturmittel von + 3·6° C etwas unter der mittleren Märztemperatur von Zürich (+ 3·8° C)[30]) zurückbleibt, ab, so schwanken die mittleren Sommertemperaturen der übrigen Stationen von + 0·36 bis 2·5° C, das sind Temperaturmittel, die in Mitteleuropa meist schon im Februar, ja an den maritimen Stationen bereits im Januar nicht nur erreicht, sondern sogar vielfach überschritten werden, zu einer Zeit, wo die Vegetation noch völlig im Winterschlaf verharrt. Zum Vergleich seien hier einige mittlere Januartemperaturen (in Celsiusgraden) notiert: Stuttgart 0·8, Heidelberg 1·3, Köln 1·9, Brüssel 2, London 3·5.[31])

Wenn trotzdem der hohe Norden bis zu den äußersten Landmarken ein noch verhältnismäßig reiches Pflanzenleben aufweist, so ist dies neben der ununterbrochenen Assimilationstätigkeit als Folge der kontinuierlichen Belichtung während des Polarsommers hauptsächlich den lokalen Er-

wärmungen zu verdanken. Auf die große Bedeutung dieser Wärmequelle für die arktische Pflanzenwelt haben die meisten nordischen Forscher der Neuzeit hingewiesen. Schon *Middendorff* und *C. Ernst v. Bär* sind in ihren Werken der Frage näher getreten, doch verdanken wir exakte, zahlengemäße Angaben hauptsächlich *Nathorst, O. Kihlman* und *Gunnar Andersson* (1900). Im Sommer 1908 hatte ich während meines Aufenthaltes auf der dänisch-arktischen Station bei Godhavn, auf der Südseite der Insel Disko in NW.-Grönland, auch selbst Gelegenheit, mich in der Arktis von der gewaltigen Steigerung der Temperatur durch direkte Bestrahlung des Bodens und der Pflanzen zu überzeugen.

G. Andersson [32]) notierte in Bellsund auf Spitzbergen am 7. Juli mittags zwischen 11½ und 12½ Uhr, nachdem die Sonne schon 20 Stunden lang von einem fast unbewölkten Himmel herabgeschienen, folgende Temperaturen:

Lufttemperatur, 1 *m* über dem Boden . . . . + 4·7° C
Temperatur der Oberfläche eines Polsters von Silene acaulis L. + 15·5° C
Temperatur des Bodens in einer Tiefe von 8 *cm*, wo sich die Hauptmasse der Wurzeln befanden . . . . . . + 9·3° C

In einer Tiefe von 25—30 *cm* lag schon das Bodeneis.

Demnach ist die Wärme derjenigen Luftschicht, in der die assimilierenden Organe der Pflanze leben, etwa dreimal so groß als die Lufttemperatur, und die Wurzeln führen ihre für die Lebensprozesse so wichtige Absorptionstätigkeit in einer Temperaturschicht aus, die ungefähr doppelt so groß ist, wie diejenige des Schleuderthermometers am betreffenden Beobachtungsort. Ja, die durch direkte Bestrahlung aufgenommene Wärme hält bei eintretender Bewölkung den Boden noch mehrere Stunden doppelt so warm als die umgebende Luft.

Vom König Karls-Land berichtet *G. Andersson* im August 1898:

Lufttemperatur 1 *m* über dem Boden . . . . + 2·3° C
Temperatur zwischen den Blättern nach achtstündiger Bewölkung . . . . + 5·2° C

Am 4. Juli 1908 notierte ich bei der Mündung des Röd-Elv unweit Godhavn, etwa 50 *m* über Meer, mittags 12 Uhr bei Sonnenschein und dunstigem Wetter:

Lufttemperatur mit Schleuderthermometer. . . . . . . + 16° C
im Felsseggenrasen (*Carex rupestris* Bell.) auf ebenem Basalt-Grußboden . . . . + 33° C
im Felsseggenrasen wie oben, aber in Südlage . . . . . + 42° C

In der Literatur werden sogar Fälle erwähnt, wo die tatsächliche Nutztemperatur zwischen den Blättern der Spaliersträucher und in den dichten Rasen der Polsterpflanzen den fünf- bis sechsfachen Betrag der gleichzeitigen Lufttemperatur erreichte. Diese Verhältnisse erklären den vorherrschenden Zwerg- und Spalierwuchs der arktischen Pflanzenwelt, wie auch die oberflächliche Entwicklung ihres Wurzelsystems.

Auch im Hochgebirge zeigen sich ähnliche, wenn nicht noch größere Unterschiede. Währenddem nach *Frankland* die Differenz zwischen der Temperatur im Schatten und der Temperatur in der Sonne eines Schwarzkugelthermometers im Vakuum am Meeresniveau (Witby, England bei 20 *m*) nur 5·1° C erreicht, beträgt sie bei Pontresina (1800 *m*) schon 17·5° C und auf der Diavolezza (2980 *m*) volle 53·5° C.

Aus all diesen Tatsachen dürfen wir wohl den Schluß ziehen, daß es auf der Erde keine Gebiete geben dürfte, wo infolge zu geringer Wärme höheres Pflanzenleben absolut ausgeschlossen wäre.

Um so befremdender waren daher die Ergebnisse der neuesten internationalen Südpolarforschung (1901—1909), die uns von einem gewaltigen antarktischen Kontinent berichten, von dem bisher aber keine einzige Blütenpflanze bekannt geworden ist. Südlich von 62° S.[33]) (Aira antarctica Hook.[33a]) hat man bis heute keine Phanerogame mehr gesehen.

Bis zur Expedition des Norwegers *C. E. Borchgrevink* (1898—1900) galt die Antarktis sogar für völlig vegetationslos.[34]) Zwischen Cap Adare (71° 20′ S.) und Geikie-Land (71° 40′ S.) sammelte dieser Forscher[35]) auf Süd-Victorialand jedoch einige Flechten und Algen sowie je ein Moos und einen Wasserpilz. Das Moos wurde von *N. Bryhn* beschrieben, es erwies sich als einer neuen Gattung zugehörig *(Sarconeurum antarcticum N. Bryhn)*; die Flechten bestimmte *Th. M. Fries* und *N. Wille* in Christiania bearbeitete die Algen (1902). — Die zweite englische Südpolarexpedition unter Marineleutnant *E. H. Shackleton*[36]) verweilte ein Jahr auf der Roß-Insel (77° 30′ S.). Auf der Ostseite des Mac Murdo-Sundes fand *James Murray*, der Biologe der Expedition, einige Moose, Flechten und mehrere eigenartige Algen, die auf der vulkanischen Erde wuchsen; dies ist, neben einer größeren Anzahl Schwämme, die auf einer Exkursion nach der Cap Royds-Halbinsel gesammelt wurden, das einzige Anzeichen einer Erdvegetation dieser Breitenzone. Und die Westexpedition[37]) berichtet vom Knob Head Mountain, wo bei 750 *m* das Lager aufgeschlagen und hernach der Berg bestiegen wurde, daß sie in einer Höhe von 950 *m* eine gelbe Flechte, bei 1100 *m* eine schwarze und bei 1290 *m* eine grüne Lichene bemerkten; das war das gesamte botanische Ergebnis dieser Reise.

Dabei muß hervorgehoben werden, daß die Minimaltemperaturen im Winterquartier während des Winters 1908/09 nicht unter — 50° C betrugen und daß die Südexpedition bei einer Meereshöhe von ca. 3500 *m* unter 88° 10′ S. als absolut tiefste Temperatur — 45° R (= 56¼° C) notiert hat. Es sind dies Temperaturen, die sogar gegenüber denjenigen des Kältepoles im ostsibirischen Urwalde zurückbleiben. Im Sommer werden zudem nicht nur am Mac Murdo-Sund und am Mt. Erebus, sondern selbst an der gewaltigen, zwischen 82 und 86° S. und 160—170° O. gelegenen Königin Alexandrakette, deren Gipfel bis über 5000 *m* ansteigen, größere Strecken schneefrei.

Das Auffinden von Kohlen- und von Pflanzenabdrücken lehrt, daß auch dieses Land einst mit Vegetation bedeckt war, doch muß die Ver-

eisung den „Kontinent des eisigen Südens“ zeitweise mit seinem weißen Leichentuch ganz bedeckt haben, denn wo auch das Land jetzt eisfrei ist, da sprechen Moränen- und Rundhöckerlandschaften von der ehemaligen Maximalvereisung. In dieser Zeit muß die höhere Pflanzenwelt zugrunde gegangen sein, denn sie konnte nicht, wie die arktische Vegetation, sich nach begünstigteren Erdstrichen zurückziehen, um von diesen Refugien aus nach dem Rückgang des Eises das verödete Land neuerdings zu besiedeln. Auf ihrer gesamten Rückzugslinie begegnete die präglaziale antarktische Flora einer unüberwindlichen Schranke: einem tiefen, sich beinahe überall über 20 und mehr Breitegrade erstreckenden Weltmeere. Es sind also nicht thermische, sondern wohl eher erdgeschichtliche Momente, welche die Verödung des antarktischen Kontinentes verursacht haben.

So gestaltet sich die Klarlegung der Beziehungen zwischen der Wärme und dem Pflanzenkleide der Erde zu einem höchst schwierigen Problem, das zudem noch in den einzelnen Erdräumen nach speziellen Methoden behandelt werden muß.

2. Die Feuchtigkeit.

Ohne Wasser kein Leben! Mit diesen Worten ist die ausschlaggebende Stellung des Wassers nicht nur für den gesamten Lebenshaushalt der Pflanze, sondern auch für die phytogeographischen Verbreitungsgesetze gekennzeichnet. Mit *L. Diels* [38]) stimmen wir völlig überein, wenn er sagt: „Das Wasser entscheidet in der Pflanzenwelt am mächtigsten über die Daseinsmöglichkeit des Organismus. Es prägt ihm seine Gestaltung auf und ist der wesentlichste Faktor, der ihm seinen Wohnsitz auf der Erde anweist und abgrenzt.“ In dieser Hinsicht kommt dem Wasser womöglich noch die größere Bedeutung zu als der Wärme. Unter den auf das Pflanzenleben einwirkenden Kräften ist aber, wie *T. W. Schimper* [39]) bemerkt, wohl keine so klar wie die der Wasserökonomie.

Feuchtigkeit und Wärme sind daher die beiden Hauptfaktoren, welche, wenigstens in den Hauptzügen, die Verteilung der Pflanzen über die Erdoberfläche in allererster Linie bestimmen. Den anderen Faktoren kommt dagegen vorwiegend eine mehr sekundäre Bedeutung zu, indem sie hauptsächlich die Detailgestaltung der vertikalen und horizontalen Grenzlinien sowie die Verteilung innerhalb des Gesamtareals jeder einzelnen Art bestimmen; doch selbst in diesen Fragen von mehr lokaler Wichtigkeit haben Feuchtigkeit und Wärme wiederum vielfach einen entscheidenden Einfluß.

In seiner „Géographie botanique raisonnée“ hat *Alphonse de Candolle* (1855) zum erstenmal den Versuch gemacht, auf Grund der Wärme- und Feuchtigkeitsmengen, die den Pflanzen in den verschiedenen Gebieten der Erde zur Verfügung stehen, eine pflanzengeographisch-physiologische Einteilung der Erde durchzuführen. Er unterscheidet sechs Gebiete:

1. Die Hydromegathermen umfassen die Länder mit hoher Wärme (Jahresmittel 20° C und mehr) und viel Feuchtigkeit; sie entsprechen in der Hauptsache den Urwaldgebieten der Tropenzone.

2. Die Xerophytengebiete oder vielleicht besser die „Xerothermen" sind die regenarmen bis regenlosen, warmen oder heißen Trockengebiete, die in einer breiten, nur wenig unterbrochenen Zone, als Wüsten, Steppen und Savannen die Hydromegathermen im Norden und Süden begleiten.

3. Die Mesothermen. Es sind dies ziemlich beschränkte Länderstrecken der wärmer gemäßigten und subtropischen Zone mit einer mittleren Jahreswärme von 15—20° C und abwechselnden Regen- und Trockenzeiten.

4. Die Mikrothermen gehören beinahe nur der nördlichen Hemisphäre an. Bei mäßiger Sommerwärme und einer winterlichen Unterbrechung der Vegetationsperiode sind die Niederschläge ziemlich gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt. Es ist dies das Klima der sommergrünen Laubwälder und der Nadelhölzer.

5. Die Hekistothermen endlich umfassen die arktisch-antarktischen Gebiete und die Hochgebirgslandschaften der Erde; ausgezeichnet sind sie durch meist spärliche Niederschläge, strenge, lange Winter und sehr verkürzte, meist nur 2—3 Monate andauernde kühle Sommer. Es sind die Kältewüsten der Erde.

Dieses System stellt, wie sich schon aus dessen Nomenklatur ergibt, die Wärme in den Vordergrund. Die Ergebnisse der Biologie und Physiologie der letzten drei Dezennien haben aber mehr und mehr dazu geführt, der Wasserökonomie die größere Bedeutung zuzuschreiben.

In dieser Hinsicht ist die veränderte Beurteilung der arktischen Flora ein sehr lehrreiches Beispiel. Der hervorragende deutsche Pflanzengeograph *A. Grisebach* erörtert noch im I. Bd. seines 1872 erschienenen Werkes „Die Vegetation der Erde"[40]) die arktische Flora ganz unter dem Gesichtspunkte des Kälteschutzes. Für diese, mit unserer jetzigen Kenntnis des Haushaltes der hochnordischen Pflanzenwelt im Widerspruch stehenden Auffassung ist folgende Stelle (S. 34) bezeichnend: „Die auf das äußerste getriebene Benutzung der gespendeten Sommerwärme und der Schutz gegen die Kälte sind so sehr die überwiegenden Momente unter den Lebensbedingungen der arktischen Flora, daß alle übrigen, Feuchtigkeit, bereite Nahrungsstoffe, angemessene physikalische Beschaffenheit des Erdreichs dagegen kaum in Betracht kommen." Weder der morphologische noch der anatomische Bau der Polarpflanze lassen aber diese Auffassung als berechtigt erscheinen. Bei objektiver Beurteilung dieser Frage muß vielmehr zugegeben werden, daß fast alle arktischen Pflanzen ohne jegliche in die Augen fallenden Schutzmittel monatelang den größten Kältegraden ausgesetzt sind. Bei den geringen winterlichen Niederschlagsmengen und der äußerst ungleichen Verteilung des Schnees — eine Folge der heftigen Burane, die mit unerhörter Kraft über die Tundra

dahinfahren, alle ebenen Flächen und Abhänge vom Schnee völlig entblößen, denselben aber in Flußtälern und muldenförmigen Depressionen in gewaltigen Mengen anhäufen — kann nicht einmal der Schneeschutz zugunsten der Kältetheorie ins Feld geführt werden. Der ausgesprochene xerophile Bau der arktischen Pflanzenwelt lehrt, daß diese Flora in hohem Maß den Stempel des Transpirationsschutzes gegen die Vertrocknungsgefahren des arktischen Klimas trägt, und daß die ganze arktische Flora offenbar unter dem Gesichtspunkt des Trockenheitsschutzes und nicht unter dem des Kälteschutzes zu beurteilen ist.[41])

Wie bei der Wärme, so ist auch bei der Feuchtigkeit die Verteilung der jährlichen Niederschlagsmenge von größter Wichtigkeit. Als Beispiel wählen wir den verschiedenen Vegetationscharakter der Flora Mitteleuropas und denjenigen der Mittelmeerländer. Als Ursache dieser Erscheinung wird gewöhnlich der angebliche große Unterschied in den Niederschlagsmengen beider Gebiete aufgeführt. Nun sind aber in vielen mediterranen Stationen die jährlichen Niederschlagsmengen gar nicht so klein; sie nehmen allerdings sowohl nach Süden als auch nach Osten regelmäßig ab, doch weisen die einzelnen Beobachtungszentren oft noch recht ansehnliche Beträge auf: Barcelona 570 *mm*, Genua 1286 *mm*, Neapel 826 *mm*, Philippeville 771 *mm*, Ragusa 1669 *mm*, Corfu 1359 *mm*, Smyrna 622 *mm*, Beirut 947 *mm*.[42]) Das sind Zahlen, die mit den landläufigen Anschauungen gar nicht stimmen wollen.

Noch mehr. *Theobald Fischer*[43]) hat auf Grund eines sehr weitschichtigen Materials für das Mittelmeergebiet eine mittlere Regenmenge von 759·4 *mm* berechnet, ein Mittel, das sogar nicht unerheblich das jährliche Niederschlagsmittel von Deutschland, von *van Bebber* zu 708·9 *mm* berechnet, übertrifft. Trotzdem besitzt der Grundstock der Flora Mitteleuropas ein viel saftigeres, frisches Aussehen als die mediterrane Landschaft, so daß man gerne bereit ist, den auffallenden Unterschied auf einen Reichtum an Niederschlägen im Norden und einen entsprechenden Mangel im Süden zurückzuführen. Die Erscheinung erklärt sich aber nicht aus der absoluten Niederschlagsmenge, sondern aus deren jahreszeitlicher Verteilung. Gegenüber Mitteleuropa mit seinen Regen zu allen Jahreszeiten und seinen vorzugsweisen Sommerregen ist das Mittelmeergebiet, besonders in seinen südlichen Teilen, durch sommerliche Regenarmut oder sogar völlige Regenlosigkeit ausgezeichnet. Mit anderen Worten: gerade zur Zeit der größten Betriebswärme fehlt das notwendige Betriebswasser, ein naturgemäß für die Pflanzenwelt höchst ungünstiges Verhältnis, welches dieselbe nötigt, in dieser Periode ihre ganze Lebenstätigkeit auf ein Minimum herabzusetzen. Die größte Wärme und die ausgiebigste vegetative Tätigkeit fallen also nicht wie in dem in dieser Hinsicht entschieden bevorzugten Mitteleuropa zusammen. Die Zeit der größten Wärme wird infolge des Wassermangels zu einer Ruhezeit und die ganze Xerophilie der Mediterranflora ist eine Folgeerscheinung dieses Mißverhältnisses.

Die Richtigkeit dieser Auffassung wird durch die Tatsache bestätigt, daß überall da, wo genügend Wasser zur Verfügung steht, auch in den Mittelmeerländern, die Üppigkeit der Vegetation nicht hinter unseren Breiten zurücksteht, ja bei künstlicher Bewässerung sie sogar erheblich übertrifft. Beweis dafür sind die Fruchtbecken der Mediterranis mit ihren alten Kulturzentren, die Gartenlandschaften der Huertas Valencias und Murcias, die Oasen von Elche und Orihuela usw. Ja, längs den zahlreichen kleineren und größeren Wasseradern und in den oft ausgedehnten Sumpflandschaften ihrer äußerst ungesunden, fieberschwangeren Mündungsebenen haben sich überall feuchtigkeitsliebende Pflanzen und laubwechselnde Bäume angesiedelt. Gebüsche von Weiden und Erlen, Gruppen stattlicher Schwarzpappeln, ganze Felder gelber Schwertlilien *(Iris Pseudacorus L.)* und periodisch überschwemmte Wiesen mit einer saftigen Teichflora verleihen solchen Gebieten durchaus nordischen Landschaftscharakter. [44])

Nur ausnahmsweise kommen die Wärmeverhältnisse, unter denen die Pflanzen leben, in deren Bau zum Ausdruck. So ist im Bauplan der Palme [45]) die Beschränkung dieses Typus auf die tropische und subtropische Zone begründet. Nur in diesen Gebieten darf der Baum es wagen, alles auf eine Karte zu setzen, denn mit der unverzweigten Säulenform der Palme ist die Ausbildung einer einzigen, mächtigen Endknospe verbunden. Die Krone der Palme bleibt stationär. In demselben Maß, als einzelne Blätter absterben, werden jeweilen wieder neue erzeugt, so daß der Wedelbestand sich immer ziemlich gleich bleibt. So wird eine vermehrte Festigkeit oder eine Vermehrung der Leitungsbahnen nicht notwendig, dafür ist aber die polare Ausbreitung der Palme in die gemäßigte Zone ausgeschlossen. Schon ein einziger kalter Winter kann das Absterben der Endknospe zur Folge haben. In Ermanglung von Ersatzknospen muß der Baum alsdann eingehen.

Gewöhnlich aber lassen sich die Wärmeverhältnisse des Wohnortes weder aus dem Bau noch aus der Entwicklung der Pflanze mit einiger Sicherheit feststellen. Ganz anders macht sich dagegen die Wasserbilanz bemerkbar. Dem Pflanzengeographen wird es meistens nicht schwer fallen, aus dem morphologischen Aufbau oder doch wenigstens aus der anatomischen Struktur zwingende Rückschlüsse auf die Feuchtigkeitsverhältnisse des Erdenraumes, den die Pflanze im Naturzustand bewohnt, zu machen. [46])

Bei den Wasserpflanzen (Hydatophyten) ist die ganze Oberfläche Absorptionsorgan. Mit einer auffallend starken Oberflächenvergrößerung geht die Verkümmerung der mechanischen und leitenden Elemente Hand in Hand. Große, dünne, oft fein zerteilte, sub- oder emerse Spreiten charakterisieren diesen Typus, gleichgültig welcher systematischen Pflanzengruppe die einzelne Art auch angehören mag. Ihnen schließen sich die Hygrophyten an, Landpflanzen, die aber in einem stets mehr oder weniger nassen oder doch feuchten Boden bei gleichzeitig hoher Luftfeuch-

tigkeit leben. Starke Vergrößerung des dünnen Laubes, ungewöhnliche Vermehrung der Spaltöffnungen, deren oft exponierte Lage, zarte Epidermis und dünne, oft fast fehlende Cuticula sind für diese Lebensform bezeichnend. Die Mesophyten sind an einen mittleren Stand des Wasserverkehrs angepaßt, dementsprechend zeigt auch die Ausbildung der Vegetationsorgane alle Übergänge von den Hygrophyten zur folgenden Gruppe der Xerophyten, denjenigen Pflanzen, die mit den ihnen zur Verfügung stehenden spärlichen Wassermengen sehr haushälterisch umgehen müssen.

Die Xerophyten bilden eine der ausgeprägtesten und bestumgrenzten biologischen Gruppen, die vom Äquator bis zum Pol verbreitet ist. Fast alle Familien, ja sogar die meisten größeren Gattungen liefern Xerophyten, indessen sehr oft nächstverwandte, aber andere Erdräume bewohnende Arten mesophytisch oder sogar hygrophytisch ausgebildet sind. Steppen, Wüsten-, Fels-, Hochgebirgs- und Polarflora liefern die schönsten Beispiele von Xerophyten.

Übrigens zeigt dieser Typus, wie kein zweiter, eine ungeahnte Formenfülle, bedingt durch die verschiedenen zur Durchführung gelangten Prinzipien, die alle den einen Zweck verfolgen, die Wasserabgabe durch Transpirationsverlust mit dem verfügbaren Wasservorrat im Gleichgewicht zu halten. In diesem Sinn wirken: gewaltige Vergrößerung des Wurzelsystems, Verkleinerung der transpirierenden Oberfläche, also Verkümmerung der Blattspreiten unter Ausbildung von Nadel- und Schuppenblättern; Übernahme der Assimilationstätigkeit durch den Stengel: auf diese Weise entstehen die Rutenpflanzen und die Dornsträucher, zuweilen kommt es zur Ausbildung der Kugelform oder doch zu Annäherungsformen. Weitere Anpassungseigentümlichkeiten der Xerophyten sind: Vermehrung der mechanischen Elemente, Verdickung der äußeren Epidermis, gewaltige Entwicklung der Cuticula, Ausbildung dichter Haarkleider, Wachsüberzüge, verborgene Lage und Ausbildung des Spaltöffnungsapparates usw. Bei periodischer Trockenheit kommt es öfters auch zur Anlage eines Wasserspeichergewebes oder gar eines eigentlichen Wasserreservoirs, wie dies für die eigentümlich anmutenden Blatt- und Stammsucculenten so bezeichnend ist. Die Saftpflanzen bilden in ihren auffallendsten Typen, in ihren Säulen- und Kugelformen, das Wahrzeichen der extremsten Trockengebiete. Gattungen, die im System weit auseinanderstehen, werden unter dem Druck der eigenartigen Wasserökonomie dieser Gebiete zu isomorphen Gestalten umgeprägt; so bei Cacteen, bei zahlreichen Euphorbien, Stapelien, bei einzelnen Compositen (Kleinia) und Geraniaceen (Sarcocaulon Südafrikas).

Von *F. W. Schimper* ist endlich (1898) noch ein letzter Typus, die Tropophyten[47], die besonders der nördlich gemäßigten Zone angehören, aufgestellt worden. Es sind Gewächse, deren Existenzbedingungen je nach der Jahreszeit diejenigen von Hygrophyten oder von Xerophyten sind. Bei ihnen ist der Aufbau der ausdauernden Teile xerophil, die der nur während der nassen Jahreszeit vorhandenen Organe dagegen hygrophil. So verhalten

sich unsere laubwechselnden Holzpflanzen. Die einjährigen Pflanzen, die den für sie ungünstigen Teil des Jahres als Samen in einem latenten Lebensstadium zubringen, sind auch den Tropophyten zuzuzählen.

Im Gegensatz zur Arktis, die man als Kältewüste bezeichnen könnte, spielen jedoch die Einjährigen in den Wärmewüsten eine viel wichtigere Rolle. Sowohl in den Steppen- als in den Wüstengebieten ist der Prozentsatz der Einjährigen recht erheblich. Es sind das diejenigen Arten, die sich auf einen harten Kampf mit dem Wüstenklima nicht einlassen, sondern ihre ganze Vegetationstätigkeit auf die kurze Zeit zusammendrängen, in der Regen fällt, die aber beim Ausbleiben der Niederschläge zuweilen jedoch jahrelang nicht zur Entwicklung gelangen. Kommt es endlich einmal zu einem ergiebigen, warmen Regen oder zu einem kräftigen Taufall, so erfolgt das Erwachen der Vegetation förmlich explosionsartig. In extremen Trockengebieten können sogar Tau und Nebel für die Flora von größter Wichtigkeit werden. *Volkens* [47a]) berichtet aus der Lybischen Wüste, daß die Entwicklung der zarten Frühjahrsvegetation absolut von den zu dieser Zeit gewöhnlich erfolgenden Taufällen abhängig ist. Nach *H. Fitting* trifft diese Angabe aber nur für das von Volkens seiner Arbeit zugrunde gelegte, schmale Randgebiet der Wüste längs dem Niltale zu. In der Sahara selbst gehören Tau und Nebelbildungen zu den größten Seltenheiten.

Zu einem der trockensten Gebiete Spaniens gehört die Gegend von Cartagena. Die mittlere, jährliche Regenmenge der Periode von 1880—1898 betrug nur 392·6 *mm*. 1905 erlebte ich schon Ende März um die Mittagszeit im Schatten Temperaturen von 33° C. [48]) Aber jeden Abend erfolgte vom Meere eine so starke durchnässende Nebelbildung, daß man sich an einen großen Alpensee hätte versetzt glauben können, und die Vegetation von Feuchtigkeit triefte. Ein Teil der Vegetation der Namibwüste Südwestafrikas verdankt vielleicht ihre Existenz dem Nebel, welcher von dem relativ kalten Meere gegen das Land hin aufsteigt. So dürften in sehr trockenen Gebieten Tau und Nebel gelegentlich fast die einzige Feuchtigkeitsquelle sein, auf die die Pflanzen noch mit einiger Sicherheit zählen können.

Für die Wüstenbewohner sind Niederschläge irgendwelcher Art immer ein Ereignis, das an ein Wunder grenzt. Gelegentliche Regenschauer werden bis in das Herz der Sahara verzeichnet. Wer je einmal einen solchen Regenguß erlebt hat, wird die ihm zuteil gewordene Überraschung nie mehr vergessen. Wie durch Zauberschlag verwandelt sich die trostlose Wüste plötzlich in ein irdisches Paradies. Der Reisende wird Zeuge, wie gleichsam aus dem Sande die Vegetation emporschießt. Einige Stunden genügen, um das Bild vollständig zu verändern. Eine Märchenwelt entsteht, sie ist allerdings nur von kurzer Dauer: wenige Stunden später ist wieder alles verschwunden. Unter der Einwirkung des Regens keimen die unzähligen kleinen Saatkörner, die durch den Wind mit dem Sande durch die ganze Wüste zerstreut worden sind; sie wachsen rasch empor, reifen neue Samen und sterben wieder ab. Die Sache hat so große Eile, daß das

ganze Pflänzchen zuweilen nur aus zwei bis drei Blättchen und einer einzigen endständigen Blüte besteht. Es ist eine vergängliche Miniaturflora, deren einzelne Individuen meistens nur wenige Zentimeter Höhe erreichen, zuweilen sogar nur wenige Millimeter. Dafür aber ist ihre Individuenzahl oft geradezu rätselhaft. Der neuentstandene Same bleibt im Sande, um nach Jahren, wenn wieder einmal einer jener seltenen Regengüsse kommt, auf gleiche rasche Weise sich wieder zu entwickeln, zur ephemeren Wüstenflora beizutragen und ebenso rasch wieder unterzugehen. Doch das kurze Leben dieser Pflanzen entrollt ein wunderbares Bild. Gazellen weiden in

Fig. 126.



Phot. Dr. *Arn. Heim.* 1906.

Cañon bei Beni Ounif, Nordrand der algerischen Sahara mit Grundwasserstrom, in den die Dattelpalmen ihre Wurzeln hineinsenken.

Rudeln, bis die ewig sengende Sonne in wenigen Tagen alle Feuchtigkeit wieder aufgesaugt hat und die Wüste wieder zur Wüste wird.

Die Feuchtigkeitsverhältnisse bedingen aber nicht nur die allgemeinen Grundzüge im Pflanzenkleide der ganzen Erde. In jedem einzelnen Gebiet wird die Detailgliederung der Pflanzendecke wiederum hauptsächlich durch die klimatische und edaphische Wasserökonomie der kleinen und kleinsten Raumeinheiten bestimmt. Dafür nur einige Beispiele:

In der Wüste sind es die größeren Depressionen, die bei Regengüssen als Wassersammelrinnen dienen und die auch in der Trockenzeit meistens etwas Grundwasser führen. Gegenüber den benachbarten Steinwüsten be-

herbergen sie eine an Art- und Individuenzahl erheblich reichere Vegetation, die sogar eine ganze Reihe von Bäumen aufweist. Den Wassersammelrinnen der Serir folgen am Nordrand der Sahara die undurchdringlichen, dornige Gestrüppe bildenden bis über meterhohen Sträucher von *Zizyphus Lotus L.* Typische Vertreter solcher Oueds sind zwei Holzgewächse: *Pistacia Terebinthus L. v. atlantica Desf.* Die einzelnen Bäume nehmen sich in der baumlosen Umgebung höchst eigenartig aus, sie stehen oft kilometerweit auseinander und lassen schon aus der Ferne den nicht selten mäanderartigen Verlauf des Oueds erkennen: *Rhus Oxyacantha Cav.* bildet Sträucher, die in der Trockenperiode ihr Laub abwerfen. Auch der wilde Ölbaum (*Olea europaea L. v. oleaster DC*) folgt im saharischen Atlas den Oueds, und wo der Grundwasserstand etwas höher steht, da stellen sich Dattelpalmen, Oleander und Tamarisken ein.[49])

Und welch Gegensatz im Vegetationscharakter zeigt nicht die See- und Föhnzone der Nordalpen und das mittlere Wallis.[50]) Wir brauchen aber nicht einmal so weit zu gehen. Am Morgen botanisieren wir in den feuchtigkeitstriefenden Waldungen ob Kandersteg: großblätterige, üppige Karfluren bilden die Unterflora, und am Nachmittag des gleichen Tages sammeln wir auf der Walliser Felsenheide um Leuk die duftende Sabina, weißfilzige Artemisien, wallendes Federgras, Astragalus- und Oxytropisarten, die uns an die Steppen Osteuropas erinnern, eine Gesellschaft von Pflanzen, die schon *Albrecht Haller* veranlaßte, das Wallis „das schweizerische Spanien" zu nennen. Woher aber dieser gewaltige Gegensatz? Dort, während des ganzen Sommers eine fast immer mit Feuchtigkeit gesättigte Atmosphäre, hier dagegen große Lufttrockenheit, verbunden mit gewaltiger, die Transpiration mächtig fördernder Insolation; dort 120—140 *cm* mittlere jährliche Regenhöhe, hier im Mittel nur 54 *cm*, ja in besonders trockenen Jahrgängen sogar nur 34 *cm*.

Im nördlichen Teil des Kantons Zürich (Bezirk Andelfingen) wechseln auf engem Raum kleine Hügel, Moränen und Drumlings.[51]) Sie sind gekrönt vom lichten Föhrenwäldchen, und beherbergen eine höchst bezeichnende Flora xerophytischer Gewächse, vorwiegend pontischer Einstrahlung: *Carex ericetorum Poll.*, *Anemone Pulsatilla L.*, *Linum tenuifolium L.*, *Cytisus sagittalis (L.) Koch*, *Fumana vulgaris Spach*, *Globularia vulgaris L. ssp. Willkommii Nym.*, *Teucrium montanum L.* und *T. Scorodonia L.*, *Stachys rectus Briq.*, *Peucedanum Oreoselinum (L.) Mönch*, *Crepis alpestris (Jacq.) Tausch* usw. Zwischen den einzelnen Erhebungen erstrecken sich aber versumpfte Ländereien: eine zum Teil bereits verlandete Seenplatte mit entsprechender Hydadophyten- und Hygrophytenvegetation.

Der große Gegensatz zwischen Nord- und Südlage ist nicht nur eine Folge der durch die Exposition bedingten verschiedenen Wärmeverteilung, wenigstens im gleichen Grad entscheidend sind die Feuchtigkeitsunterschiede. Oft ist damit auch noch eine verschiedene Bodenbeschaffenheit verbunden, so daß die Abschätzung des Anteils jedes einzelnen Faktors am Zustandekommen des veränderten Vegetationsbildes nicht immer leicht

durchzuführen ist. Von Baden im Kanton Aargau verläuft in genau östlicher Richtung die Lägern, der letzte Ausläufer des Faltenjuras. Die Südhänge sind charakterisiert durch das Auftreten von *Garides* [52]), mehr oder weniger offene xerophile Felsfluren vom Typus des Blauschwingelrasens. Leitpflanze ist *Festuca ovina L. ssp. glauca (Lam.) Hackel*, ein Gras mit derb-rigiden, blaugrünbereiften Blättern. Charakterpflanzen sind: *Melica ciliata L.*, die Feuerlilie *Lilium bulbiferum L. v. croceum (Chaix) Schinz* und *Keller, Allium senescens L., Anthericum Liliago L.* und *A. ramosum L., Thalictrum minus L., Teucrium montanum L., Sedum album L.* usw. Dazu gesellt sich ein lichter Heidewald, er besteht aus kleinen knorrigen Eichen. Vorherrschend ist die südliche Flaumeiche *(Quercus pubescens Willd.)*, und hin und wieder stoßen wir auf trockene Burstwiesen mit einer außergewöhnlich reichen Orchideenflora. Die Nordseite dagegen besitzt einen reichgemischten Bergwald mit vielen feuchten, frischen Boden liebenden Humuspflanzen, unterbrochen von Blaugrashalden und montanen Bergwiesen, die zum Teil als Alpweide zur Sömmerung von Jungvieh dienen. Bei 720 *m* steht hier die niedrigst gelegene Alphütte der Schweiz. [53])

Oder man konsultiere die schöne Arbeit von *G. Baumgartner* (1901) über „das Curfirstengebiet“. [54]) Entsprechend der höheren Erhebung und größeren Ausdehnung des Gebirgszuges sind die Kontraste womöglich noch augenfälliger, sie kommen auch in der verschiedenen Bewirtschaftung der beiden Gehänge deutlich zum Ausdruck. Auf der Südseite gehen echte Kastanien und Rebe bis gegen 1000 *m*, der Nußbaum bis 1100 *m*, Buche bis 1550 *m*, Wildheuplanken und Magermatten von 800—1920 *m*, die Fichte bis 2100 *m*, die Arve fehlt. Vorherrschend sind der reichgemischte Laubwald und Magermatten. Auf dem gegen das Toggenburg gerichteten Nordhang liegt die Talsohle bei 900 *m*. Es fehlen Getreide- und Rebenkultur, Magermatten und Wildheuplanken, Kastanie und Nußbaum. Die Buche geht nur bis 1200 *m*, die Fichte bis 1900 *m*, dafür erscheint als neue Holzart von 1700—1900 *m* die Arve. Den größten Teil des Geländes beansprucht moosiger Nadelwald und Weide.

Nicht selten erfolgt jedoch der Wechsel noch auf viel engbegrenzterem Raum. Auf höheren Juraweiden erheben sich oft in großer Zahl Höcker von 1—2 *m* Höhe und 50 *cm* bis 2 *m* Länge. [55]) Es sind teils Maulwurfshaufen, teils von Vegetation überzogene Steine, teils indirekt entstanden durch das Weidevieh, das die Rinnen zwischen denselben durch das Auftreten beim Weiden immer mehr vertieft und deren Pflanzenbestand unberührt läßt. Wie nun auch ihre Entstehungsgeschichte sein mag, immer sind diese Höcker von ihrer Umgebung durch größere Trockenheit ausgezeichnet: ihre Vegetation besteht aus derbem Ginster, aus Heidekraut (Calluna) und Thymian und kontrastiert in sehr auffälliger Weise mit der nächstbenachbarten saftigen Weideflora.

Und dort im Gebiet der Hochweide [56]) ruft jede noch so kleine Terrainwelle sofort einen förmlichen Szenenwechsel hervor. Die trockenen Wellenberge sind mit den xerophytischen Kleinsträuchern der alpinen Zwerg-

strauchheide bestanden, indessen die dazwischen gelegenen feuchteren Mulden saftige Michkrautweide aufweisen. Dieser rasche, beständig sich wiederholende Wechsel ist nur eine Folge der Feuchtigkeitsunterschiede, bedingt durch die Topographie des Geländes. Der Höhenunterschied zwischen Sohl- und Scheitelpunkten der Wellenberge beträgt dabei oft kaum einen Meter.

So macht sich der Einfluß des Wassers überall im großen und kleinen in erster Linie bemerkbar. Das Entscheidende sind aber auch hier nicht die von der Meteorologie gemessenen absoluten Niederschlagsmengen, denn nur ein kleiner Teil derselben kommt der Vegetation zu gut. Viel wichtiger ist die Wasserabsorptionskraft der einzelnen Gewächse und das verschiedene Wasserbindungsvermögen der Böden. Erstere ist in der Konstitution der Pflanze begründet, letzteres in der Bodenart; beide stehen zur Regenhöhe einer gegebenen Gegend in keiner Beziehung, sind aber trotzdem für die wirkliche Wasserbilanz und damit für den Vegetationscharakter eines Landes von größter Bedeutung. Den wassereinnehmenden Faktoren steht die wasserausgebende Transpiration gegenüber, eine ebenfalls sehr komplizierte Größe. Sie ist abhängig von der jeweiligen, stets wechselnden relativen Luftfeuchtigkeit, von der Wärme, von den Windverhältnissen, von dem morphologischen und anatomischen Aufbau der Pflanze. Große Lufttrockenheit und Steigerung der Verdunstungsgröße durch heftige, trockene Winde kann selbst einer zart gebauten Pflanze nicht schaden, so lange sie über einen reichlichen, stets zugänglichen Wasservorrat verfügt, und umgekehrt kann eine Pflanze mit sehr wenig Wasser auskommen, wenn sie in einem mehr oder weniger mit Feuchtigkeit gesättigten Raum lebt. Es kommt also in Wirklichkeit weniger auf das Quantum der Wasseraufnahme bzw. Wasserabgabe an, als vielmehr auf deren Gleichgewicht, d. h. auf die tatsächliche Wasserbilanz.

Endlich besitzt das Wasser noch eine weitere pflanzengeographische Aufgabe. Die mechanische Kraft des fließenden Wassers ist einer der Faktoren, welche die Ausbreitung der Arten über ihr ursprüngliches Areal vermittelt. Jeder Gebirgsbach bringt Sämereien von Oreophyten nach der Niederung. Die wilde Sihl bei Zürich verfrachtet Alpensamen bis ins Limmattal.[57]) An ihrem Ufer sammeln wir im Sihlwald *Carduus Personata (L.) Jacq.* und *Ranunculus aconitifolius L.,* oberhalb Leimbach steht *Aconitum Napellus L.,* bei der Wollishofer Allmend *Ranunculus montanus Willd.* und auf einer Kiesinsel bei Altstätten unterhalb Zürich *Hierochloë odorata (L.) Wahlbg.* Dazu kommen noch einige mehr gelegentliche Herabschwemmungen, die nicht zu dauernder Ansiedelung geführt haben.

Im Kanton Tessin gestattet die vielfach dachgähe Steilheit der Gehänge, verbunden mit der großen Feuchtigkeit, welche auch in den Tieflagen angetroffen wird, vielen Alpenpflanzen bis in unmittelbare Nähe der Seen (ca. 200 *m* Meereshöhe) herabzusteigen. *H. Christ* sagt treffend: das Rhododendron hat eine kurze Reise vom Joch der Punta di Tros (1866 *m*) ob Locarno bis zur Schlucht bei Orselina (300 *m*), und auch das fließende Wasser hat einen kurzen Weg, um die Alpenpflanzen drunten aus der

Wolkenregion ohne Unterlaß zu erfrischen.[58]) So liefert der Kt. Tessin zahlreiche Beispiele außergewöhnlich tiefer Standorte von Alpenpflanzen. Auch die Alluvionen der Flüsse der bayrischen Hochebene beherbergen manche alpine Pflanze, die ihr Vorkommen der verfrachtenden Mission der Gebirgsgewässer verdankt.[59])

Dieselbe Erscheinung kehrt in allen Gebirgen wieder. Durch die Riesenströme Nordasiens werden, wie wir durch *Cajander*[60]) und *Sommier* wissen, südliche Steppenpflanzen bis in die Übergangstundra, dem Grenzgebiet von Wald- und Baumwuchs, verschleppt und gesellen sich in der neuen Heimat zu typisch arktischen und silvestren Genossenschaften.

Doch muß man sich immerhin hüten, die Rolle der Gebirgsbäche als Verbreitungsmittel zu hoch einzuschätzen. Die Wanderlinien sind nur die schmalen Flußrinnen, in denen der junge Ansiedler durch die Erosionstätigkeit des Wassers und durch periodische Hochwasserzeiten in seiner Existenz stets gefährdet ist. Dem Versuch, sich außerhalb des Bereiches des fließenden Wassers auf sichereren Boden zu retten, stehen andere Schwierigkeiten gegenüber, so daß die dauernde Angliederung der Ankömmlinge in die natürlichen Formationen, die sie in ihrer neuen Heimat antreffen, zu den Ausnahmen gehören.

Ein weiteres Transportmittel sind die Meeresströmungen. Doch ist auch hier der Prozentsatz der erfolgreichen Verfrachtungen verhältnismäßig klein, sei es, weil die Landungsküsten des Driftgutes ein Klima aufweisen, das von demjenigen des Ursprunglandes zu sehr abweicht, sei es, weil die Keimfähigkeit der Samen durch das lange Verweilen im Meerwasser verloren gegangen ist. Berühmt sind eine Reihe von Fällen von Verbreitung pflanzlicher Produkte durch Meeresströmungen geworden. An den indischen Gestaden fand man die 10—15 *kg* schwere Seychellen-Nuß schon seit Jahrhunderten angeschwemmt, indessen die Stammpflanze *(Lodoicea Sechellarum Labill)* erst 1742 entdeckt worden ist.[61]) Am Strande Norwegens hat schon *C. v. Linné* tropische Samen gesammelt und ihre Zufuhr dem Golfstrom zugeschrieben. Auf diese Driftprodukte gründete bekanntlich einst *Columbus* seine Annahme, daß weit im Westen noch ein neuer Kontinent sein müsse. Die Jeanetteströmung führt jährlich aus den sibirischen Gewässern bedeutende Holzmengen an die Küste Grönlands. Die ganze Kultur der Eskimos beruht auf dieser Holzzufuhr.

Die neuern Untersuchungen haben ergeben, daß beinahe nur Halophyten, besonders Strandpflanzen von Meeresströmungen mit Aussicht auf Erfolg verbreitet werden. Nach *M. P. Porsilds*[62]) Versuchen wird bei einer Reihe dieser Arten die Keimkraft durch Behandlung mit Meerwasser sogar gesteigert, indessen Pflanzen terrestrer Vergesellschaftungen schon nach kurzer Zeit in starken Prozenten einen Rückgang der Keimfähigkeit bis zum völligen Keimverlust zeigen. Nach *A. F. W. Schimper*[63]) besitzen viele marine Strandpflanzen besondere Schwimmorgane in Form von Schwimmblasen oder eigenartigen Schwimmgeweben. Durch die Beobachtungen und Arbeiten von *Hemsley*[64]), *Treub*[65]) und *Guppy*[66]) ist er-

wiesen, daß viele Strandpflanzen innerhalb ihrer Klimazone und eines herrschenden Meeresströmungssystems eine sehr weite Verbreitung besitzen, die auf Drifttransport zurückzuführen ist.

Von fundamentaler Bedeutung ist in dieser Hinsicht die Neubesiedelung der durch die submarinen Eruptionen vom Jahre 1883 entstandenen Krakatauinsel in der Sundastraße.[67]) 1886 wurde die Insel von *Treub* besucht: er fand in der Driftzone neben Kryptogamen Keimlinge von 9 Blütenpflanzen, ferner Früchte und Samen von weiteren 7 Phanerogamen, welche alle der typischen Strandvegetation des Malaiischen Archipels entstammten. Zehn Jahre später (1897) ist die Insel neuerdings untersucht worden. Die Flora zeigte noch beinahe denselben Charakter, nur mit beträchtlich vermehrter Artenzahl. Nach *Penzigs* Berechnungen[68]) waren damals 32 Arten, das heißt 60·39% der Phanerogamenflora durch Meeresströmungen der Insel zugeführt worden. Eine dritte im April 1905 durchgeführte eingehende Aufnahme und Studie über den Florenbestand der Krakatauinsel verdanken wir *A. Ernst*[69]) in Zürich. Das Ergebnis ist: die Strandpflanzen der neuen Krakatauflora sind vorwiegend durch die Meeresströmungen, die Binnlandpflanzen durch Vögel und Winde auf die Insel gebracht worden. Von der Gesamtzahl der Blütenpflanzen sind je nach der Art der Berechnung 39—72%, also jedenfalls die Hauptmasse durch die Meeresströmungen dorthin gekommen; die Anemochoren sind mit 16—30%, die Zoochoren (durch Vögel) mit 10—19% vertreten.

3. Das Licht.

Neben Wärme und Feuchtigkeit, diesen an Wichtigkeit kaum nachstehend, ist das Licht auf das pflanzliche Leben und dessen Gestaltung von entscheidendem Einfluß. Doch die pflanzengeographische Rolle des Lichtes scheint zunächst nahezu bedeutungslos zu sein. In der Hochregion der Alpen finden sich zum Teil nicht nur dieselben Arten wie im hohen Norden, viele Typen sind wenigstens morphologisch absolut identisch und bei der Großzahl der beiden Gebieten gemeinsamen Arten ist es nicht einmal zur Ausbildung vikarierender geographischer Rassen gekommen, so daß es z. B. auch dem systematisch geschultesten Botanikerauge nicht möglich sein wird, *Loiseleuria procumbens (L.) Desv.*, *Silene acaulis L.*, *Empetrum nigrum L.*, *Thalictrum alpinum L.*, *Dryas octopetala L.*, *Oxyria digyna (L.) Hill.*, *Salix herbacea L.* usw. arktischer und alpiner Provenienz voneinander zu unterscheiden. Und doch, welch gewaltiger Gegensatz im Lichtgenuß der beiden Landkomplexe während der Vegetationsperiode: in der südlichen Gebirgswelt der periodische Wechsel zwischen Tag und Nacht, zwischen Dunkelheit und großer Lichtintensität, in der Polarregion dagegen der einzige, ununterbrochen andauernde lange Sommertag. Größere lichtklimatische Kontraste sind kaum denkbar, trotzdem zeigen aber die beiden Gebiete teilweise denselben Florenbestand.

Auf der ganzen Erdoberfläche gibt es keine Stellen, wo wegen Mangels oder zu intensiven Lichtes Pflanzenleben ganz ausgeschlossen

wäre. Da die Reduktion des Kohlenstoffes aus der Kohlensäure eine Lichtwirkung ist, die nur durch Vermittlung des ebenfalls beinahe ausnahmslos an die Anwesenheit von Licht gebundenen Chlorophyllapparates vor sich geht, so sind die absoluten Dunkelgebiete jedoch einzig der heterotroph lebenden, niederen Pflanzenwelt (Bakterien, Pilze) zugänglich.

Aber nicht nur der Assimilationsprozeß, sondern auch noch zahlreiche andere Stoff- und Kraftwechselvorgänge sind an das Licht gebunden. Dieselbe Kraftquelle übt einen hemmenden Einfluß auf die Spreitenentwicklung der Blätter und die Streckung der Stengelinternodien aus. Beweis sind einerseits die gewaltigen Blattflächen und die hohen schmächtigen Stengel der Schattenflora, andrerseits die gestauchten Sprosse und die kleinen Blättchen der Lichtpflanzen. In dieser Hinsicht hat das Licht auch einige pflanzengeographische Bedeutung, indem es die Schattenpflanzen der Unterflora der Wald- und Gebüschformationen zuweist, so daß das Verbreitungsareal dieser Arten an jene Vergesellschaftungen gebunden ist. Horizontale und vertikale Waldgrenzen sind daher auch Schranken für alle diejenigen Gewächse, welche auf gedämpftes Licht von bestimmten Intensitätsgraden abgestimmt sind. In Nord-Grönland gibt es bekanntlich keine Wälder mehr, doch bis zum 73° N., das heißt volle 12 Breitegrade nördlicher als die absolute Baumgrenze des arktischen Landes, finden sich noch Miniaturwälder aus dichten, oft nur noch 50–100 *cm* hohen Weidengebüschen der *Salix glauca L.* Die Bodenflora besteht aus schattenliebenden Pflanzen, die, unter diesen Verhältnissen lebend, die erfolgreichsten Vorstöße gegen Norden machen. Im tiefsten Schatten vegetieren einige Farne: *Dryopteris Linnaeana C. Christens, D. Lonchitis (L.) O. Kuntze, Cystopteris fragilis (L.) Bernh.* Folgende Waldpflanzen sind auf Disko beinahe ausschließlich an die Saliceten gebunden: *Listera cordata (L.) R. Br., Corallorrhiza trifida Chatelain, Lycopodium annotinum L., Stellaria borealis Big., Pyrola minor L., P. secunda L. v. borealis Lge.* [70]) usw. Man wird vielleicht einwenden, daß nicht das gedämpfte Licht, sondern der Humusgehalt des Bodens dieser Standorte jene Pflanzen zur Ansiedelung in den Saliceten veranlasse. Dem ist aber nicht so. Auf der Zwergstrauchheide und in den Moorsümpfen, die beide humösen Boden aufweisen, fehlt diese Florula.

Das Licht ist ferner bei vielen Pigmentbildungen in aktiver Weise beteiligt. In höheren Pflanzen wird die Assimilation der Nitrate durch dasselbe stark gefördert. Schwache Belichtung veranlaßt in den Wäldern vielfach das Absterben der unteren Äste. Auch der Habitus der Pflanze wird öfters durch das Licht mitbestimmt. Die Gestalt der Pinie [71]) ist ein deutliches Spiegelbild des großen Lichtbedürfnisses dieses Baumes. Die zu stark beschatteten Kurztriebe werden abgestoßen, so reinigt sich das Zweig- und Astwerk; die übrigen Triebe streben dem Lichte zu, damit wird die Krone breit und abgeflacht und erinnert an einen gewaltigen ausgespannten Sonnenschirm. Auch die Kompaßpflanzen mit ihrer festen, nach dem Meridian orientierten Lichtstellung und isolateral gebauten Blättern und die kantenständigen Blätter, wie sie besonders

für australische *Eucalypten* und *Proteaceen* bezeichnend sind, sind eine Folge spezieller Lichtverhältnisse, beide bezwecken die Abschwächung des starken Mittaglichtes, indem dasselbe unter spitzem Winkel auf die Assimilationsorgane einfällt. Gleichzeitig wird auch eine Herabsetzung der Transpiration bewirkt. Bei Kultur in schwächerem Licht entwickelt die Kompaßpflanze ihre Blattorgane allseitig, nach den verschiedensten Richtungen des Raumes. *Sempervivum tectorum L.* ist eine typische Sonnenpflanze. Bei einer mittleren maximalen Lichtintensität, wie sie bei vielen Standorten von Schattenpflanzen normal ist, gibt sie nach *Wiesners* Kulturversuchen ihre so bezeichnende Rosettenform auf. Sie verlängert ihre Internodien, verkleinert ihre Blätter, verliert einen Teil ihres Blattgrüns. Ganz analoge Deformmationen können jedoch bekanntlich auch durch parasitäre Einwirkungen *(Endophyllum Sempervivi Lév.)* entstehen.

Bekannt ist, daß Sonnen- und Schattenblätter sogar derselben Pflanze (z. B. Buche) konstante Unterschiede aufweisen. Durch intensives Licht wird die Bildung der Palissadenzellen gefördert, die Intercellularen verkleinert, daher der Blattbau kompakter; das Chlorophyll ist auf das Mesophyll beschränkt, indessen bei Schattenblättern das Blattgrün außerdem, zuweilen sogar vorwiegend, in der Epidermis auftritt.

Zu ähnlichen Ergebnissen ist *A. Engler* (Zürich) bei seinen Studien über die Variabilität der Zapfen von *Pinus silvestris L.* gekommen. Die nordischen und alpinen Zapfenschuppen zeigen den Typus von Lichtblättern. Sowohl in höheren Gebirgen (von 1200 *m* an) als im Norden beobachtet man eine Verdickung der Apophysen, die offenbar als eine Lichtwirkung aufzufassen ist; im Norden bedingt durch die langandauernde sommerliche Belichtung, in den Hochlagen der Alpen als Folge intensiverer Strahlung. Pflanzengeographisch bedeutungsvoller ist endlich noch die Tatsache, daß auch bei der Anlage und Entwicklung von Blüte und Frucht der Phanerogamen (*Vöchting*[72]) und bei der Ausbildung der Sexualorgane niederer Kryptogamen[73]) *(Klebs)* das Licht eine entscheidende Rolle hat. Nach *Vöchtings* Untersuchungen ist erwiesen, daß bei zahlreichen Blütenpflanzen schwache Belichtung die Blütenbildung entweder ganz unterdrückt oder daß dieselbe doch nur unvollkommen vor sich geht. An den Außenküsten Spitzbergens, die im Sommer unter einem Übermaß dichter Nebel leiden, sind eine ganze Reihe von Arten nur im vegetativen Zustand, andere nur ganz ausnahmsweise in Blüte beobachtet worden. So wurde die Moltebeere *(Rubus chamaemorus L.)* auf diesem Archipel bisher nur zweimal blühend (Anfang August 1883 und Ende Juli 1898), aber nie fruchtend gefunden.[74])

An dieser Stelle weisen wir auch darauf hin, daß bei manchen Arten im hohen Norden die Frucht- und Samenreifung sehr oft unterbleibt oder doch nur ausnahmsweise normal vor sich geht. Sehr viele arktische Pflanzen findet man an ihren nördlichsten Stationen fast immer nur steril.

Nach *Nathorst* ist es ferner fraglich, ob sich daselbst die Samen von *B. nana L.* noch vollkommen normal zu entwickeln vermögen; jedenfalls dürfte dies nur in ausnahmsweise günstigen Jahrgängen der Fall sein.

Die Krähenbeere, *Empetrum nigrum L.*, ist eine der seltensten Pflanzen Spitzbergens, deren Früchte aber nicht mehr ausreifen. Diese Beispiele ließen sich noch mit Leichtigkeit vermehren.

Der Einfluß des Lichtes auf die Gestaltung der Pflanzen, wie auf deren Standortswahl, und zum Teil auch auf ihre Arealumgrenzung war schon lange bekannt, als man immer noch nicht über einigermaßen brauchbare Lichtmessungsmethoden verfügte. Der Ausbau dieser Methoden und beinahe unsere ganze gegenwärtige Kenntnis des photochemischen Klimas ist das Ergebnis von Forschungsarbeiten, die den letzten fünfzehn Jahren entstammen.

Auch in dieser Zweigdisziplin hat sich die Biologie und Pflanzengeographie zunächst wiederum ganz an eine der Meteorologie entnommene Methode gehalten. Mit Hilfe von Sonnenscheinautographen wurde die jährliche Sonnenscheindauer einzelner Gebiete in Stunden festgestellt. Der Vergleich der Ergebnisse zeigte für das schweizerische Beobachtungsnetz eine wesentlich größere Sonnenscheindauer der Höhenstationen als in der Ebene, und eine Bevorzugung der Zentralalpen gegenüber den nördlichen Voralpen. [75])

So hat:	Mittl. jährl. Sonnenscheinstunden	Mittl. tägl. Sonnenscheindauer
Zürich . . 470 *m*	1693·3	4·6 Stunden
Davos . . 1561 *m*	1788·8	4·9 „
Sätnis . . 2500 *m*	1754·4	4·8 „
St. Moritz 1856 *m*	1854	5·1 „

St. Moritz erfreut sich somit, verglichen mit Zürich — trotz seines beschränkteren Horizontes — einer um 11% höheren Sonnenscheindauer. Auf freien Grat- und Gipfelstationen müßte der Unterschied zugunsten des Höhenklimas noch auffälliger sein.

Eine Vergleichung der absolut möglichen Lichtintensitäten bringt die Bevorzugung der Hochgebirgsregionen noch deutlicher zum Ausdruck. Beim Durchgang des Lichtes durch die Atmosphäre wird ein Teil der Strahlung durch die Lufthülle und durch den in ihr enthaltenen Wasserdampf absorbiert. Aus diesem Grunde vermindert sich auch die erwärmende Kraft der direkten Sonnenstrahlung mit der zunehmenden Mächtigkeit der zu durchstrahlenden Luftschicht. Bei unbewölktem Himmel beträgt der Lichtverlust auf dem Gipfel des Mont Blanc (4810 *m*) nur 6%, auf dem Berninapaß bei 2300 *m* schon 14%, bei Pontresina 17% und in Zürich ca. 30%. Durch diese bedeutend erhöhte Insolation der Hochlagen wird der Ausfall an Wärme teilweise ausgeglichen, ja zuweilen sogar mehr als ersetzt. Sie erklärt uns auch die befremdende Tatsache, daß der Roggen bei 1200 *m* trotz der geringeren Wärmesumme rascher reift als in der Ebene, daß die phänologischen Erscheinungen der Alpenflora sich so schnell folgen und die Flora selbst trotz ihrer Kleinheit in ihrer Gesamtheit durchaus nicht den Eindruck einer Kümmerflora hervorruft.

Diese physikalischen Methoden berücksichtigen jedoch nur die direkte Sonnenstrahlung, das diffuse Licht wird von ihnen ganz ver-

nachlässigt. Das Gesamtlicht kann nur mit chemischen Methoden, welche meistens auf der Schwärzung von lichtempfindlichen Chlorsilberpräparaten beruhen, studiert werden. Diese Verfahren messen zwar nur die Intensitäten der chemisch wirksamen oder aktinischen, das heißt der stark brechbaren, blauen, violetten und ultravioletten Strahlen, mithin denjenigen Teil des Spektrums, der für die Pflanzengestaltung in erster Linie maßgebend ist. Für die CO_2-Assimilation kommen dagegen hauptsächlich die schwach brechbaren Strahlen in Frage, doch ergibt sich nach den Untersuchungen von *Leonhard Weber*[76]) (Kiel) eine ziemlich vollständige Proportionalität zwischen der Stärke der aktinischen und derjenigen der roten Strahlen.

Nachdem schon in den 40er und 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts von *Draper* (1843) und von *Bunsen* und *Roscoe* (1854—57) Versuche zur Herstellung eines Lichtmessungsapparates gemacht worden sind, die jedoch keine befriedigenden Ergebnisse erzielten, gelang es 1862 *Bunsen* und *Roscoe*, ein in bestimmter Weise zubereitetes Papier, das sogenannte Normalpapier, herzustellen.[77]) Das Normalpapier wird dem Lichte ausgesetzt und die eintretende Verfärbung unter Berücksichtigung der erforderlichen Zeit mit einem konstanten Farbenton der Normalschwärze verglichen. Die ersten Lichtmessungen sind 1863 und 1864 in Manchester, Dingall (Schottland), Kew (1865) und in Heidelberg vorgenommen worden.

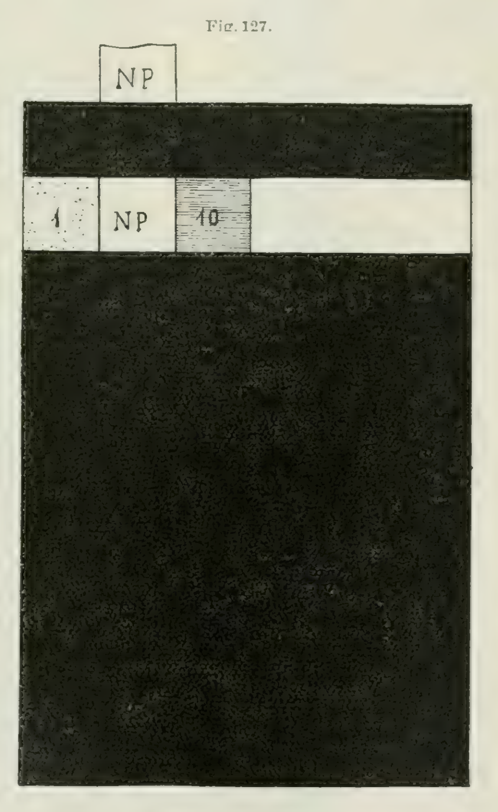
Als Maßeinheit der chemischen Lichtintensität wurde die Schwärzung des Normalpapieres bis zur Normalschwärze in einer Sekunde festgestellt. Wenn die Normalschwärze auf dem Normalpapier in $^1/_2$, 1, 2, 3, 4 Sekunden erreicht worden ist, so ist die Lichtintensität mit 2, 1, bzw. $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ anzugeben.

Es braucht jedoch geraume Zeit, bis diese Lichtmessungsmethoden der physiologisch-pflanzengeographischen Forschung dienstbar gemacht wurden. In seiner 1878 erschienenen Arbeit „Photochemische Beobachtungen der Intensität des Tageslichtes in St. Petersburg“ schrieb *Stelling:* „Wenn man erwägt, einen wie großen Einfluß die Intensität des Lichtes auf das Wachstum und Gedeihen der Pflanzen- und Tierwelt ausübt, einen Einfluß, der sich auch in hohem Grade auf das Wohl und Wehe des Menschen erstreckt, so kann man nur lebhaft wünschen, daß die photochemischen Messungen eine größere Verbreitung als bisher finden möchten.“ Doch erst 1895 erschien auf diesem Gebiet wieder eine pflanzengeographische Abhandlung: *J. Wiesners* „Untersuchungen über den Lichtgenuß der Pflanzen mit Rücksicht auf die Vegetation von Wien, Kairo und Buitenzorg“. Für die Kenntnis des Lichtklimas sind *Wiesners* Arbeiten von bahnbrechender Bedeutung geworden. Zur Vervollständigung seiner photometrischen Messungen bereiste er nicht nur Java und Ägypten, sondern auch das nördliche Norwegen, Spitzbergen und um den Einfluß der Seehöhe auf den Lichtgenuß der Pflanzen, das heißt auf das Verhältnis zwischen der auf die Pflanze oder einzelne ihrer Organe einwirkenden Lichtstärke zur Intensität des gesamten Tages-

lichtes zu studieren, wählte er ein Profil, welches bis zu 3000 *m* emporsteigt, aber teilweise doch noch mit Wäldern bedeckt ist, nämlich das Gebiet des Yellowstone-River in Nordamerika. Die Gesamtresultate dieser Forschungen hat *Wiesner* in dem Werke „Der Lichtgenuß der Pflanzen" (1907) zusammengefaßt.

In den letzten Jahren hat endlich Dr. *Ed. Rübel*[78]) in Zürich sehr sorgfältige, sich über zwei Jahre (September 1905—September 1907) erstreckende Beobachtungen auf dem Berninahospiz (2320 *m*) durgeführt und damit die Grundlage zur Kenntnis des Lichtklimas der Alpen geschaffen. Vom Alpengebiet lagen vorher nur von *Th. v. Weinzierl* einige photometrische Messungen von der Sandlingalpe vor. Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der *Rübel*schen Studien findet sich in dessen soeben erschienem prächtigen Werke über das Berninagebiet (1911[79]). Auf den beiden letzten von mir geleiteten naturwissenschaftlichen Studienreisen nach den canarischen Inseln (1908) und nach dem Nordrand der algerischen Sahara (1910) hat *Ed. Rübel* ebenfalls photometrische Messungen vorgenommen.

Fig. 127.



Wiesners Handinsolator.

Werfen wir noch einen Blick auf die verschiedenen Lichtmeßapparate und auf die vom photogeographischen Standpunkte aus wichtigen Resultate dieser neuesten Forschungsrichtung.

Die drei gebräuchlichen Lichtmesser sind:

1. Wiesners Handinsolator (Fig. 127). Er besteht aus einem mit schwarzem Papier überzogenen Brettchen von ca. 10 *cm* Länge, 8 *cm* Breite und 0·5 *cm* Dicke. Auf der einen Seite kann man, etwa nach Art der Photographierähmchen, Papier einschalten. Auf der Vorderseite findet sich ein offener Querschlitz, in welchem die Exposition stattfindet. Normalton- (1) und Zehnertonstreifen (10) werden zwischen Brettchen und Papier eingefügt und zwischen denselben ein Streifen Normalpapier (NP). Im Augenblick, wo das Normalpapier dem Licht ausgesetzt wird, setzt man einen bis 0·2 Sekunden angebenden

Chromographen in Gang und im Moment, wo das Normalpapier den Normalton (1) erreicht, wird der Chromograph wiederum abgestellt. So kann man am Chromograph die Zeit bis auf 0·2″ genau ablesen. Ist die Frist zur Erreichung des Normaltons zu kurz, um genau gemessen zu werden, so fährt man fort, bis der Zehnerton (10) erreicht ist; der zehnte Teil der gebrauchten Zeit entspricht alsdann der zur Erreichung des Normaltons notwendigen Zeit.

Der große Nachteil dieser Methode besteht vor allem in der rasch eintretenden Unbrauchbarkeit des Normalpapiers, das schon nach 16 bis 20 Stunden schnell an Empfindlichkeit abnimmt; daher muß dasselbe täglich neu hergestellt werden.

2. Wynnes Infallible Exposuremeter (Fig. 128) wurde nach dem Vorgang von *Stebler* und *Volkart* auch von *E. Rübel* mit Erfolg als Lichtmesser angewendet. Es ist ein für photographische Zwecke hergestellter Apparat in Form einer Taschenuhr, deren hintere Schale drehbar ist. Durch eine daran befestigte Feder drückt sie einen kreisrunden Wollappen und eine Scheibe lichtempfindlichen Papiers gegen eine unter dem Glas der Vorderseite liegende Metallplatte. Die Metallplatte besitzt einen kleinen Ausschnitt, an welchem das lichtempfindliche Papier exponiert wird. Zu beiden Seiten des Schlitzes sind die konstanten Farbentöne angebracht. Durch Drehen der hinteren Scheibe wird das Papier mitgedreht, so daß immer neue Teile vor den Schlitz gelangen. Die Art der Beobachtung erfolgt sonst nach derselben Weise wie bei Wiesners Handinsolator.

Fig. 128.



Wynnes Infallible Exposuremeter.

Da ein Papierscheibchen ca. 30 Belichtungen erlaubt und ein käufliches Päckchen 10 Papierscheibchen enthält, so können mit demselben 300 Lichtmessungen vorgenommen werden. Das Papier ist sehr haltbar und die Papierstreifen jedes Paketchens sind unter sich gleich lichtempfindlich. Leider erweist sich aber die Lichtempfindlichkeit der einzelnen Pakete als ziemlich verschieden. Der grose Vorteil besteht somit darin, daß man ein dauerhaftes Papier hat, das man nicht selbst herstellen muß; allerdings wird es notwendig sein, jedes Paketchen vor und nach dem Gebrauch mit Normalpapier zu kontrollieren, um so vergleichbare Resultate zu erzielen.

3. Das Steenstrupsche Aktinometer[80]) (Fig. 129) besteht aus einem 20 *cm* langen und 2 *cm* breiten Blechstreifen mit aufgebogenen, 5 *mm* hohen Rändern. In die Rinne kommt zuerst ein Streifen lichtempfindlichen Papiers, darüber abgestufte Lagen von Pauspapier (Fig. 129 *c*), so daß die Zahl der Papierschichten von einem Ende nach dem anderen in gesetzmäßiger Weise zunimmt. Auf der obersten Lage sind kleine, viereckige oder runde, schwarze Papierstreifen aufgeklebt. Zum Zwecke der Erreichung einer möglichst ebenen Fläche wird das Ganze mit einer an beiden Enden durch Federn

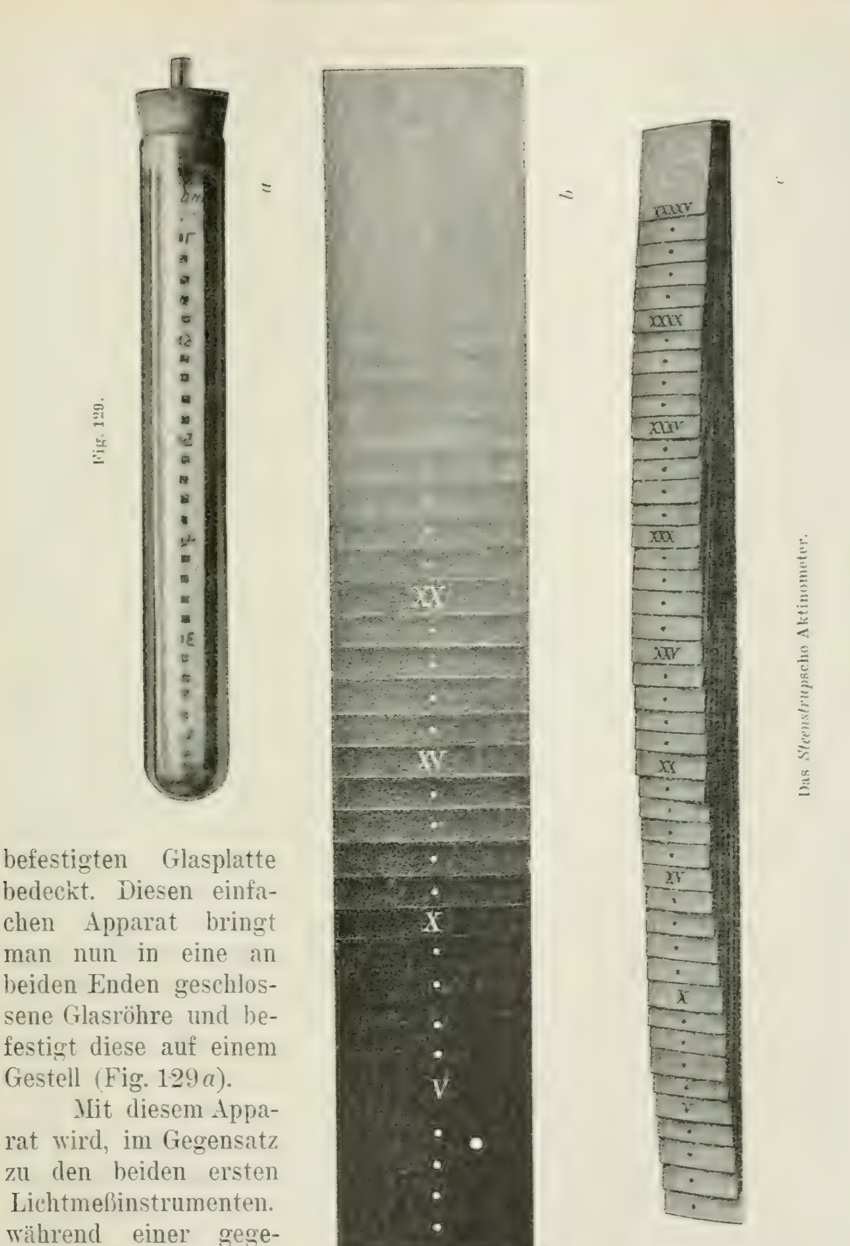


Fig. 129. Das *Steenstrup*sche Aktinometer.

befestigten Glasplatte bedeckt. Diesen einfachen Apparat bringt man nun in eine an beiden Enden geschlossene Glasröhre und befestigt diese auf einem Gestell (Fig. 129*a*).

Mit diesem Apparat wird, im Gegensatz zu den beiden ersten Lichtmeßinstrumenten, während einer gegebenen längeren Zeitspanne der gesamte Lichtgenuß gemessen, indem je nach Lichtstärke und Länge der Exposition das Licht durch eine mehr oder weniger dicke Papierschicht das lichtempfindliche Papier, soweit es nicht durch die aufgeklebten schwarzen Viereckchen geschützt ist, schwärzt (Fig. 129*b*).

Der im deutschen Sprachgebiet viel zu wenig bekannte Apparat ist eine Erfindung des ehemaligen dänischen Staatsgeologen Dr. *K. J. V. Steenstrup*. Seit einer Reihe von Jahren werden damit in Kopenhagen und auf der dänisch-arktischen Station bei Godhavn (Nord-Grönland) Lichtmessungen ausgeführt.[80a]) Ein Vergleich der Ergebnisse beider Beobachtungsserien ergab, daß bei vollständig wolkenlosem Himmel die Lichtmenge von Kopenhagen am längsten, 16 Stunden andauernden Tag gleich groß ist wie diejenige in Grönland unter 69° 15′ N. während der 24 Stunden desjenigen Sommertages, in dem die Sonne am höchsten steht. Mit dem Apparat lassen sich auch die Lichtintensitäten bei Horizontallage, Süd- und Nordlage des Lichtmessers bestimmen. Bei starker Insolation ist der Lichtgenuß der Südlage gegenüber der Nordlage bedeutend größer; dagegen besteht sozusagen kein Unterschied bei diffusem Licht, d. h. bei gleichmäßiger Bewölkung. Indem man den Lichtmesser in verschiedene Tiefenlagen von Seen oder Meerbuchten bringt, kann man auch die allmähliche Abnahme der Lichtstärke nach den tieferen Wasserschichten verfolgen.

Dieser Apparat wird ganz besonders bei festen Beobachtungsstationen gute Dienste leisten, dagegen wird für Forschungsreisende und Touristen heute wohl nur Wynnes Aktinometer in Frage kommen können.

Die prinzipielle Frage der Lichtmessung wäre somit gelöst. Die Schwierigkeiten beruhen hauptsächlich in der Herstellung vollständig miteinander übereinstimmender Apparate, deren Handhabung wirklich vergleichbare Werte liefern würden. Es ist dies nicht möglich, wenn jeder einzelne Beobachter selbst sein Normalpapier herstellt, wenn die lichtempfindlichen Papiere nicht identisch sind, und beim Steenstrupschen Lichtmesser keine Garantie vorliegt, daß das verwendete Pauspapier immer von derselben Qualität ist. Nur eine mit allen modernen Einrichtungen ausgestattete, sorgfältig geleitete wissenschaftliche Anstalt bzw. Firma ist in der Lage, all diesen Anforderungen zu entsprechen. Es wäre daher sehr zu wünschen, daß von einer solchen Stelle aus offiziell geprüfte, gleichwertige Lichtmesser in den Handel gebracht würden.

Die durch die bisherigen Messungen gewonnenen Einblicke in das photochemischen Klima verschiedener Erdräume sind in mancher Hinsicht bemerkenswert. Wir fassen die Ergebnisse kurz zusammen:

a) Spitzbergen[81]): Bei gleicher Sonnenhöhe und gleicher Himmelsbedeckung wurde die chemische Intensität des gesamten Tageslichtes durchschnittlich größer gefunden als in Wien und Kairo, aber kleiner als in Buitenzorg. Bei vollkommen bedecktem Himmel wurde in der Adventbai eine mit der Sonnenhöhe so regelmäßig steigende Lichtstärke festgestellt wie in keinem anderen der untersuchten Gebiete. Für Tage gleicher mittäglicher Sonnenhöhe ist die Tageslichtsumme im arktischen Gebiet beträchtlich höher als in mittleren Breiten. Anfang August ist die durchschnittliche Tageslichtsumme in der Adventbai nahezu 2·5mal größer als bei gleicher Mittagssonnenhöhe in Wien (Anfang Februar oder Anfang November). Vor

allem aber ist das Lichtklima dieses hochnordischen Vegetationsgebietes durch eine relativ große Gleichmäßigkeit der Lichtstärke ausgezeichnet, wie sie sonst in keinem anderen bisher untersuchten Gebiet beobachtet worden ist. Die größte Menge vom Gesamtlicht erhalten die Pflanzen an den arktischen Vegetationsgrenzen. Dieser große Bedarf an vorhandenem Licht bedingt, daß jede Selbstbeschattung der Gewächse durch das eigene Laub an den äußersten nordischen Vegetationsgrenzen nach Möglichkeit ausgeschlossen wird.

b) Alpengebiet[82]) (Berninahospiz). Währenddem nach *Wiesner* für die Vegetation der Ebene das diffuse Licht weitaus die größte Rolle spielt, kann im Alpengebiet die Lichtsumme des direkten Lichtes über den doppelten Wert des diffusen steigen. Die höchst beobachtete Mittagsintensität des Berninahospizes ist 1800 (Wien 1500), die geringste 85 (Wien 7). Das Verhältnis der niedrigsten zur höchsten Intensität ist 1 : 21 (Wien 1 : 214). Das Gesamtlicht ist in den Alpen höher als in der Ebene: an sonnigen Tagen ist auf Höhenstationen das direkte Licht bedeutend höher, das diffuse eher etwas niedriger. Die Intensitäten sind besonders nach reinigenden Niederschlägen höher als nach länger andauerndem schönen Wetter. In der Lichtsumme des Gesamtlichtes haben wir das Lichtklima des horizontalen sonnigen Standortes zu sehen, in der des diffusen dasjenige im Schatten. Die Südexposition weist ganz bedeutend mehr Licht auf als die Nordlage, in der Höhe noch viel mehr als im Tiefland. Dies bedingt neben anderen Faktoren den meist ganz verschiedenen Charakter der Vegetation von Nord- und Südlage, sowie den bedeutenden Unterschied in den Höhengrenzen dieser beiden Expositionen. Es ergibt sich somit, daß die Alpenpflanzenwelt als eine ausgesprochene Lichtflora zu bezeichnen ist.

c) Pik de Teyde[83]) (Tenerife). Bei unserem Besuch des Pik vom 6.—8. April 1908 herrschten, trotz herrlichem Wetter, nicht die erwarteten großen Lichtintensitäten, wie sie auf dem Berninahospiz bei gleicher Sonnenhöhe und Sonnenbedeckung beobachtet werden. In der Passat-Wolkenregion wurde $^1/_{1\cdot5}$—$^1/_6$ des Tageslichtes, im Lorbeerwald im Mittel nur $^1/_{10}$—$^1/_{40}$ notiert.

d) Süd-Algerien (Nordrand der Sahara). Das Charakteristikum der Wüste ist geringe Lichtintensität bei vollem Sonnenschein. Bei bedecktem Himmel kann in der Wüste die Lichtstärke sehr gering sein (65 bei 40° Sonnenhöhe): nach Regen vermag sie vorübergehend jedoch zu beträchtlicher Höhe anzusteigen. Trotz der bedeutenden Meereshöhe dieses Gebietes (ca. 900 *m*) zeigt das Lichtklima große Übereinstimmung mit demjenigen Ägyptens. Das Licht auf dem Gipfel des Djebel Mekter bei Ain-Sefra erreichte fast den doppelten Betrag desjenigen vom Fuß des Berges, reicht hingegen noch lange nicht an die durchschnittlichen alpinen Werte dieser Sonnenhöhen. Die Zahlen des Gipfels im Saharaatlas sind bei 2000 *m* und mit Sand in der Luft sehr ähnlich denjenigen der Chotts und des Tellatlas bei ca. 1000 (ohne Sand in der Luft) und bei ähnlichem, teil-

weise auch ziemlich niedrigerem Sonnenstand. Das direkte Licht kann am Nordrand der Sahara das 2·8fache des Diffusen erreichen, auf dem Atlasgipfel aber den 3·5fachen, auf der blendenden Hochebene den 4fachen und im Tellatlas den 3fachen Betrag.

4. Der Wind.

Der Wind als exogener, das Pflanzenleben zuweilen fördernder, wohl häufiger aber hemmender Faktor, hat von jeher das Interesse des Pflanzengeographen und Biologen erregt. Seine Wirksamkeit beruht zum Teil auf seiner Mission als Träger von Wärme oder Kälte, von Feuchtigkeit oder Trockenheit, die oft mit einer bestimmten Gesetzmäßigkeit von großen Entfernungen anderen Erdräumen zugeführt werden, zum Teil auch auf seiner mechanischen Leistungsfähigkeit, die sich bald als eine Pflanzengestalt und Physiognomik der Landschaft in auffälliger Weise beeinflussende Kraft, bald als sehr wichtiges Verbreitungsmittel von Frucht und Same erweist.

Der Wüstengürtel Afrikas sendet im Sommer nach allen Richtungen Glutwinde aus, so z. B. den heißen, trockenen Scirocco nach Italien und der Adria, den Leveche nach Südostspanien. In kurzer Zeit vermögen diese Winde die ganze Oliven- und Weinernte zu zerstören. *Hellmann* berichtet, wie im August 1876 innerhalb 6 Stunden, zwischen Almeria und Malaga die Weinpflanzungen wenige Wochen vor der Weinlese völlig vernichtet wurden, „das Weinlaub sah nach dem Passieren des Windes so aus, als ob man es mit siedendem Wasser begossen hätte“.[85])

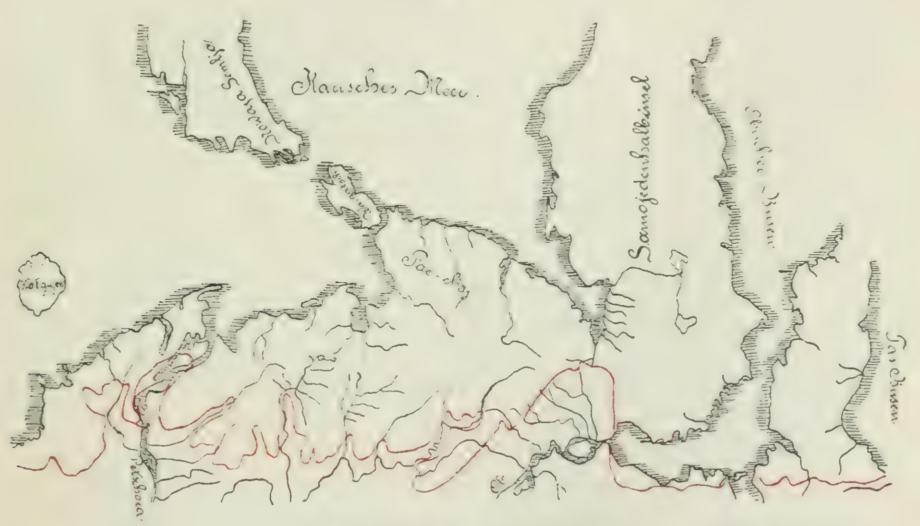
In den Alpentälern und im schweizerischen Molasseland übt dagegen der warme, fast stets von Regengüssen gefolgte Föhn auf die Vegetation einen sehr günstigen Einfluß aus.[86]) Die Hauptföhnstraßen der nördlichen Abdachung der Alpen sind durch eine Reihe südlicher Arten, die der Alpenbotaniker geradezu als „Föhnpflanzen“ bezeichnet, charakterisiert. Hierher gehören z. B.: *Hypericum Coris L.*, *Asperula taurina L.*, *Coronilla Emerus L.*, *Parietaria officinalis L.* usw. Auch die Arktis hat ihren Föhn.[87]) Seine hohen Temperaturen bewirken ein frühzeitigeres Abschmelzen von Schnee und Eis und damit eine Verlängerung der Vegetationsperiode. Daher sind innerhalb der Arktis polare Föhngebiete in derselben Weise begünstigt wie unsere See- und Föhnzone gegenüber dem übrigen schweizerischen Mittelland. Diese Föhne vermögen gelegentlich mitten im Winter die Temperatur von — 44° auf + 2° C zu heben. Während meines Sommeraufenthaltes in Godhavn auf der Insel Disko in Nordgrönland (1908) wehte der Föhn öfters. An fünf aufeinanderfolgenden Tagen notierte ich Temperaturen von 16—20° C. Die bevorzugte Lage der Küstengebiete Nordwestgrönlands dürfte wenigstens zum Teil auf den zuweilen wochenlang herrschenden grönländischen Föhn zurückzuführen sein. Ähnliche föhnartige Winde werden auch von Alaska und Ostasien angegeben.

Auf die austrocknende Wirkung der Winde im Gebiet der Waldgrenze (Lappland) hat *O. Kihlman* in eingehender Weise aufmerksam gemacht.[88])

An dieser Stelle interessiert uns aber hauptsächlich die mechanische und die pflanzengeographische Seite des Problems.

Da die Geschwindigkeit des Windes und damit dessen Kraft mit steigender Entfernung vom Boden zunimmt, muß sich dessen Wirkung hauptsächlich am Baum und Strauch bemerkbar machen. An flachen, windoffenen Küstenländern und auf ebenen ozeanischen Inseln ist der Baumwuchs daher nahezu ausgeschlossen. Der Baum wird zum Strauch, der Strauch nimmt eine dem Boden angeschmiegte Spalierform an. Stellt sich aber dem vorherrschenden Wind irgend ein Hindernis entgegen: eine kleine Terrainwelle, ein Dünenzug oder eine Talfurche, so vermögen in den im Windschutz gelegenen Strecken die Holzgewächse sich wieder zu stattlichen Höhen zu erheben und ihre Kronen normal zu entfalten. Besonders instruktiv sind diejenigen Fälle, wo nur ein teilweiser Windschutz vorhanden ist. Der geschützte Teil ist alsdann regelmäßig entwickelt, indessen alle über den schützenden Wall herausragenden Äste und Zweige „Windform“ angenommen haben.

Fig. 130.



Verlauf der Waldgrenze in Nordrußland. (Nach *N. Selander.*)

Von pflanzengeographischer Bedeutung wird aber der Windschutz ganz besonders in denjenigen Gebieten, wo der Baumwuchs in der Nähe einer unüberschreitbaren Grenzlinie angelegt ist, so z. B. im Gebiet der subarktischen Wald- und Baumgrenze[89]) (Fig. 130). Schon lange bevor die Waldgrenze erreicht ist, macht sich ihre allmähliche Annäherung dadurch bemerkbar, daß der Baumwuchs vor jedem noch so niederen Höhenzug zurückbleibt. So entspricht im nordischen Pionierwald jeder Hügel, jede unbedeutende Erhebung einer Tundrainsel. Und liegt die zusammenhängende Waldgrenze hinter uns, so gelangt nun die Tundra zur Vorherr-

schaft; doch im Windschutz der Hügelkette läßt sich nicht selten ein mehr oder weniger breiter, zungenförmig vorgezogener Waldstreifen noch weit nach Norden verfolgen. Auf der Südseite des Großlandrückens, der sich von der Petschora bis zum Ural fast parallel zur Küste mitten durch die Tundra hinzieht, finden sich zahlreiche Waldinseln, welche vermuten lassen, daß sich hier in früheren Zeiten ein zusammenhängender Fichtenwald hingezogen hat.

Windschutz gewähren in diesen Breiten auch noch die Erosionsfurchen der großen Flußtäler. Jeder einzelne der nach Norden gerichteten Kontinentalströme bewirkt in Nordasien einen erfolgreichen nördlichen Vorstoß der Baumgrenze. Neben dem relativen Windschutz, verglichen mit der offenen windgepeitschten Tundra, wirken noch drei weitere Momente zusammen, um in diesen Flußtälern ein in mancher Hinsicht begünstigtes Lokalklima zu schaffen: 1. Das verhältnismäßig warme, aus südlichen Gegenden kommende Wasser, welches durch Ausstrahlung auch erwärmend auf das ganze Flußtal und dessen Umgebung wirken muß; 2. die rasche Entwässerung des Bodens an den Talhängen und 3. die bei dem niederen Sonnenstand von den Talseiten gegenüber der flachen Tundra reichlicher absorbierte Wärmemenge. Die beiden letzteren Faktoren und der Windschutz kommen jedem eingeschnittenen Tal zu gut, auch dann, wenn dasselbe nach Westen, Osten oder sogar nach Süden gerichtet ist, so erklärt es sich, daß von den Hauptstromtälern der Wald in die kleineren Nebentäler vordringt oder sich in ihnen öfters vom Waldgebiet losgelöste Waldinseln vorfinden. Es ist also der durch die Topographie bedingte Windschutz, welcher die Detailgestaltung der in mannigfachen Schlingen, Aus- und Einbuchtungen, verlaufenden Grenzlinie (Fig. 130) der subarktischen Wald- und Baumgrenze hauptsächlich zuzuschreiben ist. Schon *Th. v. Middendorff* hat die Bedeutung des Windes für den Baumwuchs erkannt. In seinem großen Werke „Reise in den äußersten Norden und Osten Sibiriens“ sagt er[90]: „Ich wage sogar auszusprechen, daß im Hochnorden ein günstig gestalteter Windschutz von vielfach größerer Bedeutung ist als die geographische Breite oder die Höhenlage über dem Meere. Ein Windschutz von wenigen Klaftern Höhe fördert dort den Baumwuchs mehr als 50—100.000 Klafter minder nördlicher Lage des Ortes.“

Im Gegensatz zu diesem Verhalten des Waldes im hohen Norden kann man in den Alpen beobachten, daß die vorgeschobensten Bäume sehr oft auf Gräten, Felskanten und steilen Felsriffen anzutreffen sind, indessen in den dazwischen liegenden und tiefer gelegenen Mulden, Abhängen und Hochflächen längst kein Baumwuchs mehr auftritt. Der scheinbare Widerspruch findet seine Erklärung einerseits in der Tatsache, daß unsere alpine Baumgrenze eben keine natürliche, sondern eine ausgesprochen wirtschaftliche Depressionsgrenze ist, andrerseits liegt in den Mulden öfters der Schnee so lange, daß dadurch für den Baumwuchs die Vegetationsperiode zu sehr verkürzt wird.

Orkane, Wirbelstürme, wie z. B. die gefürchteten Taifune, bewirken Windwurf, brechen die dicksten Äste und Stämme gleich Streichhölzchen

und lassen hinter sich ein wüstes, undurchdringliches Chaos von Riesenbäumen. Doch diese Katastrophen haben in der feuchten Tropen- und Subtropenzone verhältnismäßig wenig zu bedeuten. Bei dem raschen Wachstum, das den Tropenbäumen eigentümlich ist, und bei dem jungfräulichen Boden ist die Wunde in wenigen Jahren wiederum vernarbt. Mit zunehmender Breiten- und Höhenlage und den damit parallel gehenden, spärlicher werdenden Nach- und Zuwachsverhältnissen wirkt dagegen jeder

Fig. 131.



Phot. H. Okulitsch, Tomsk.

Wind- und Kipparve von der oberen Waldgrenze im Altai (Sibirien).

Verlust ungleich nachhaltiger, so daß in den Grenzgebieten des Baumwuchses schon das Einbüßen kleiner Äste, Zweige und Blätter einen bleibenden Nachteil zur Folge haben kann.

Übrigens sind solche Verheerungen hauptsächlich auf Gebiete beschränkt, wo kataklysmenartige Luftbewegungen nur ausnahmsweise vorkommen. In Gegenden mit häufigen, heftigen Winden sind direkte mechanische Schädigungen verhältnismäßig selten, weil die durch konstante Windwirkungen bedingte Wuchsform, wie *Hegeler* gezeigt hat, eine Ver-

mehrung der mechanischen Elemente und damit eine erhöhte Festigkeit zur Folge hat.

In Gebieten mit einseitig vorherrschenden Winden von mittlerer bis bedeutender Stärke kommt es zur Ausbildung von Windformen. Als gestaltumformende Faktoren sind bei Baumstämmen hauptsächlich Druckwirkung, bei wachsenden Zweigen Zug und bei den Blättern und jungen Achsen gesteigerte Transpiration maßgebend. Alle diese Veränderungen bewegen sich in ihrer Gesamtwirkung nach einer Richtung hin: Die normale Wachstumsrichtung wird stets nach der herrschenden Windrichtung abgelenkt. Dies zeigt sich in der Kipplage der Bäume, in einseitig windfahnenartiger Ausbildung der Kronen, oder der obere Teil der Hauptachse und das Astwerk sind von der Windseite abgewendet (Fig. 132), einseitig überhängend, oder es kommt zur Entwicklung buschig-dorniger, auf der Luvseite allmählich ansteigender Heckendünen sowie von Matten- und Polsterformen. Auf der windgefegten Hochfläche am Aufstieg zur Lille Malene bei Godthaab (SW.-Grönland) sah ich, wie die dem Boden spalierartig angepreßten Zweige der Zwergbirke *(Betula nana L.)* alle in der Richtung des herrschenden Südwindes parallel ausgewachsen und mehr oder weniger peitschenartig verlängert waren.

Fig. 132.



Phot. G. Senn.

Heckendünen von Phillyraea media L. (Oleacee). Wirkung des Westwindes. Im Vordergrund die schneeweiße Artemisia arborescens.

Aus der Heckenform (Fig. 132) können „Kugelbüsche“, die an vergrößerte Polsterpflanzen erinnern, dadurch entstehen, daß Winde von entgegengesetzten Seiten auf Holzgewächse einwirken. Dies ist z. B. auf der Halbinsel des Kap Pertusato, südlich von Bonifacio (Korsika), der Fall. Es wehen hier einerseits heftige, westliche Winde, andrerseits aber etwas weniger starke und weniger häufige östliche Winde. Aus diesem Grunde finden sich an der Westküste ausgesprochene „Heckendünen“, die nach Osten allmählich in Kugelbüsche übergehen, doch wird die Kugelform nicht in der Mitte der Halbinsel, sondern in windoffenen Lagen, erst weiter gegen den Golf von

Sta. Manza am Tyrrhenischen Meer erreicht. — Eine sehr lehrreiche zusammenfassende Abhandlung über die Windfrage, in der auch die umfangreiche Literatur aufgeführt und kritisch verarbeitet ist, verdanken wir *J. Früh* [91]).

In Gegenden, in denen so heftige konstante Winde wehen, sind auch die Kulturen gefährdet. In solchen Fällen schafft der Mensch künstlichen Windschutz, sei es durch Anlage von senkrecht zur Windrichtung angelegten hohen Mauern (Fig. 133), sei es durch Anpflanzung von Schutzstreifen (sogenannte rideaux), die aus weniger windempfindlichen Holzarten bestehen. In dieser Hinsicht zeigen die einzelnen Arten gegenüber derselben Windstärke nicht nur große Unterschiede, auch in der verschiedenartigen Reaktionsfähigkeit, d. h. in der Ausbildung der einzelnen Windformen ergeben sich oft recht auffällige Abweichungen. Im Mittelmeergebiet sieht man das „spanische Rohr" *(Arunda donax L.)* häufig zur Herstellung von Windschutzstreifen verwendet [92]); in der Rhoneebene zwischen Villeneuve und St. Maurice (Waadt [93]) und wiederum bei Martigny (Wallis) besonders Föhren (Pinus silvestris L.), Weißtannen, Fichten und Ulmen.

Fig. 133.



Windschutz der Kulturen bei Bonifacio (S.-Korsika).
Tälchen zwischen den tafelartigen Erhebungen im Hintergrunde des Fjords von Bonifacio, Kulturen durch Quermauern und Arundo donax-Schutzstreifen gegen die mechanische und austrocknende Windwirkung geschützt.

Pflanzengeographisch spielt endlich der Wind bei einer großen Anzahl von Pflanzen teils die Rolle eines Bestäubungsvermittlers, teils diejenige eines wichtigen Verbreitungsmittels von Same und Frucht.

Die honiglosen, unscheinbaren Windblütler oder anemophilen Pflanzen sind in größerem Prozentsatz vorwiegend an windexponierten Örtlichkeiten anzutreffen, so ganz besonders auf niederen ozeanischen Inseln. In den Gebirgen scheint dagegen die Zahl der Anemogamen mit der Höhe eher abzunehmen.

	Zahl der untersuchten Arten	Windblütler	Insektenblütler
Mitteleuropäisches Tiefland (nach *Loew* [94])	1252	171	981
In Prozenten	—	21·5	79·5
Alpen (nach *Müller*)	699	109	590
In Prozenten	—	16	84
Kaukasus (nach *A. Günthart*)	1032	111	921
In Prozenten	—	10·7	90·3

Für den Kaukasus ergeben sich nach Regionen folgende Zahlenverhältnisse:

	Zahl der untersuchten Arten	Windblütler	Insektenblütler
a) Zwischen der unteren Grenze der alpinen Region (zirka 2000 *m*) bis 3500 *m*	873	93	780
In Prozenten	—	10·6	90·4
b) Zwischen 3050—3660 *m*	143	18	125
In Prozenten	—	12·6	87·4
c) Oberhalb 3660 *m*	16	—	16
In Prozenten	—	0	100

Der hohe Norden [95]) weist dagegen eine viel größere Zahl von Anemogamen auf, nämlich auf Nowaja Semlja 32·4%, Grönland 34·5%, Spitzbergen 37% und Island 38%.

Das Maximum an Windblütlern wird aber von den Inselfloren erreicht: die nordfriesischen Inseln besitzen 36·25%, die Halligen sogar 47·3% Anemogamen. [95]) Von ganz besonderem Interesse sind in dieser Hinsicht jedoch die Kerguelen. Die ca. 25 bekannt gewordenen Blütenpflanzen dieser Inselgruppe sind alle anemophil. Der Kerguelenkohl (*Pringlea antiscorbutica Hook f.*), obwohl der sonst ausgesprochen entomophilen Familie der Kreuzblütler angehörig, ist zur Windblütigkeit zurückgekehrt und die wenigen Insekten zeigen alle verkümmerte Flugorgane.

Viele Arten besitzen Samen oder Früchte, deren Aufbau erkennen läßt, daß dieselben durch Windtransport verbreitet werden. Die zu verfrachtenden Keime sind bald staubartig klein (*Farne, Orchideen*), oder sie sind mit allerlei Oberflächenvergrößerungen versehen, durch die einerseits das spezifische Gewicht herabgesetzt, anderseits die Angriffsfläche des Windes vergrößert wird. Wir erinnern an die mit Federkronen ausgestatteten Achänien der Compositen und Valerianaceen, an die Weiden. Flügel kommen sowohl bei Samen (*Birke, Föhre, Tanne, Bignoniaceen*) als bei Früchten (*Umbelliferen, Ahorn, Esche*) vor, oder es sind Hochblätter (*Tilia, Carpinus*), die als Flugapparate dienen. Nach *Dinglers* Untersuchungen wird durch solche Flugeinrichtungen die Fallgeschwindigkeit bis um das Achtfache vermindert. In Steppen- und Wüstengebieten werden auch ganze fruchttragende Pflanzenstöcke vom Winde entwurzelt und als sog. „Steppenläufer“ fortgeführt. Bekannt ist in dieser Hinsicht *Plantago cretica L.* Der

Biologe bezeichnet Pflanzen, die durch Windtransport verbreitet werden, als Anemochoren. Nach *P. Vogler*[96]) ist in den Alpen der Prozentsatz der anemochoren Arten über der Baumgrenze bedeutend größer als unter derselben. Von den eigentlich alpinen Arten sind 59·5% Windfrüchtler.

Ein lang umstrittenes Problem war die Frage der Art und Weise des Windtransportes: ob derselbe nur in kleinen Etappen, gewissermaßen schrittweise vor sich geht, oder ob innerhalb kürzerer Zeit auch Verschleppungen über große Entfernungen vorkommen. Vertreter der ersten Auffassung sind: *A. v. Kerner*[97]), *De Candolle, J. Coaz, Magnin* usw., indessen besonders *P. Vogler* und *Treub* auch für Windtransport auf große Distanzen eintreten. Die stärkeren Bewegungen der höheren Luftschichten in den Tropen sind von *Beccari* und später von *A. Engler* (Berlin) zur Erklärung von pflanzengeographischen Vorkommnissen herangezogen worden.

Zunächst muß betont werden, daß das Vorkommen von Flugeinrichtungen auf das Vorherrschen schwächerer, aber regelmäßiger Winde hindeutet. Bei großer Windstärke werden auch relativ schwere Samen, die keinerlei Flugmechanismen aufweisen, transportiert. In Anbetracht dieser Tatsache wäre eine Studie, ob in Gebieten mit häufigen orkanartigen Winden die Flugvorrichtungen nicht vielleicht spärlicher entwickelt sind als in Gegenden mit schwachen Luftströmungen, von besonderem Interesse. So viel mir bekannt, liegen speziell über dieses Thema keine Arbeiten vor.

Zur Beantwortung der Frage des Windtransportes auf große Distanzen scheinen mir alle Erfahrungen, die aus dicht bevölkerten oder viel besuchten Gebieten stammen, nicht einwandfrei zu sein. Zu diesen Gegenden rechne ich auch das gesamte Alpengebiet. *Vogler* erwähnt eine ganze Reihe von Blattfunden verschiedener Laubhölzer, die auf Pässen oder Gletschern gemacht worden sind, 10—25 *km* von den nächsten natürlichen Standorten der betreffenden Arten entfernt.

Ein kleiner Vorfall aus dem Jahre 1903 zeigt, wie bei der Beurteilung der Verbreitung von Blättern durch den Wind größte Vorsicht geboten ist.[98]) Bei der Überschreitung der vorderen Furka zwischen dem Pommat (Italien) und dem Val Bosco (Tessin) fanden wir in einer Höhe von 2300 *m* Buchenblätter. Da die obersten Buchen im Gebiet sich in der Nähe der Ausmündung des Val Campo befinden, schlossen wir auf einen Windtransport von reichlich 9 *km* und über eine Höhendifferenz von 1200 *m*. Am folgenden Tag begegnete uns aber beim Abstieg ein Mann, der einen Sack voll Buchenlaub trug, und der auf unsere Frage, wozu und wohin, zur Antwort gab: „Zum drufliege auf d' Alp." Damit schrumpfte der vermeintliche große Windtransport auf kaum 1·5 *km* zusammen, und wie leicht dürfte nicht an den rauhen Kleidern der Sennen das Laub weiter verschleppt werden, so daß schließlich für den eigentlichen Windtransport recht wenig übrig bleibt.

Damit soll nun keineswegs gesagt sein, daß Windverfrachtung auf große Entfernungen überhaupt nicht vorkommt. In dieser Beziehung verweisen wir auf den von *Vogler* eingehend beschriebenen und diskutierten

Salzhagelregen am Gotthard vom 30. August 1870 und auf die Studie von *Treub* über die Neubesiedelung der Krakatauinsel. Die ersten Ansiedler unter den Gefäßpflanzen waren Farne, Compositen, Gräser, alles anemochore Arten, deren Keime wenigstens aus einer Entfernung von 30 *km* durch Luftströmungen zugeführt worden waren. So ist die Bedeutung der anemophilen Aussäugungsvorrichtung für die Entstehung der Inselfloren durch *Treubs* wichtige Beobachtungen endgültig nachgewiesen worden, sagt *A. F. W. Schimper* mit vollem Recht.

Auch aus der Arktis liegen mir mehrere zuverlässige Angaben über Windtransport auf größere Entfernungen vor. Anfangs November 1869 befanden sich die Hansaleute etwa 8 Seemeilen (ca. 15 *km*) vor der Liverpoolküste Ostgrönlands, als sie auf dem nach Süden driftenden Eisfeld eine Anzahl kleiner weidenähnlicher Blätter bemerkten, die nur durch den Wind vom Land hierher gelangt sein konnten.[99]) Und von der Westseite vom König Oskarland bei nahezu 78° N. berichtet *O. Sverdrup*: Wir befanden uns auf dem Meereis. Überall lagen Blätter und Grashalme verstreut, auf der ganzen Fahrt fjordwärts flogen Pflanzenteile in der Luft herum. Der Wind stand quer auf unserem Weg und in den Schlittenspuren häuften sich die Blätter so dicht, daß die Geleise wie dunkle Streifen aussahen.[100])

5. Die Bodenbeschaffenheit.

Die Bodenfrage ist eines der verwickeltsten Probleme der Pflanzengeographie. Es sind besonders zwei Auffassungen, die sich von jeher gegenübergestanden haben. Die physikalische Richtung *(Thurmann, A. de Candolle, Jussieu)* vertritt die Anschauung, daß die physikalischen Eigenschaften des Bodens, dessen Feuchtigkeitsgehalt, die Neigung zum einfallenden Licht und damit auch dessen absolutes und relatives Wärmeabsorptionsvermögen, die Durchlüftungsfähigkeit usw. in erster Linie maßgebend seien; indessen die chemische Richtung (*Unger, Nägeli, Vallot* usw.) das Hauptgewicht auf das Vorhandensein oder Fehlen der nötigen Nährstoffe bzw. anderer der Pflanze zusagender oder ihr schadender Substanzen, wie z. B. auf den Kalk-, Humussäure-, Salz- oder Ammoniakgehalt legt, und daher von Kalkpflanzen, Humuspflanzen, Salzpflanzen (Halophyten) und Lägerpflanzen spricht. Die Schwierigkeit liegt nun hauptsächlich darin, daß jeder Boden in sich physikalische und chemische Eigenschaften vereinigt, die miteinander aufs engste verknüpft sind und sich daher einer gesonderten Betrachtung nur schwer unterziehen lassen. Heute ist man immerhin der Auffassung, daß weitaus die meisten Böden für die Ernährung der Pflanzen genügende Mengen löslicher, der Pflanze zugänglicher Mineralstoffe enthalten. Stark ausgelaugte Böden kommen zwar auch vor (z. B. Heidesand, Dünen), ebenso Bodenarten, die infolge eines Übermaßes bestimmter Stoffe (z. B. Salz) für die meisten Pflanzen unbewohnbar sind, doch treten beide im Verhältnis zur übrigen besiedelten Erdoberfläche sehr zurück, so daß man jetzt

eher geneigt ist, den physikalischen Eigenschaften des Bodens die größere Bedeutung zuzuschreiben.

Nach unserer gegenwärtigen Kenntnis ist jedoch die Bodenfrage nicht mehr ein rein chemisch-physikalisches, sondern auch ein biotisches Problem. Düngungszustand und Humusgehalt weisen schon auf organogene Beeinflussung des Bodens hin, wobei derselbe aber nicht nur durch bestimmte organische Stoffe bereichert, sondern auch in seinen physikalischen Verhältnissen alteriert wird. So ist der gedüngte Boden [101]) nicht nur durch seinen Stickstoffgehalt ausgezeichnet, sondern auch besser durchlüftet und von größerer Wärme- und Wasserkapazität. In anderer Weise modifiziert der Humusgehalt den ursprünglichen chemisch-physikalischen Bodencharakter. Immerhin lassen sich diese beiden organogenen Bodenarten in der Hauptsache doch auf chemische bzw. physikalische Veränderungen des Bodens zurückführen.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn wir in Berücksichtigung ziehen, daß auch der Bakteriengehalt, das Vorhandensein oder Fehlen bestimmter Bodenpilze oder die von einzelnen Pflanzen ausgeschiedenen Giftstoffe *(Whyte)* die Verbreitung der Arten beeinflussen. Im folgenden Kapitel werden wir Gelegenheit haben, diese Seite der Frage kurz zu berühren. Hier soll, soweit dies überhaupt möglich ist, nur die rein chemisch-physikalische Seite der Frage (Rohboden) an einigen Beispielen erörtert werden.

So wichtig vom physiologischen Standpunkt aus die Bodenfrage auch sein mag, für die Phytogeographie ist sie doch nur von mehr sekundärer Bedeutung, und dies, weil die verschiedenen Bodenarten in keiner Weise, wie etwa Wärme und Feuchtigkeit, sich geographisch nach Zonen und Höhenstufen regelmäßig ablösen, sondern in jedem Gebiete meistens innerhalb verhältnismäßig engem Raume wechseln. Wir können daher sagen, daß die Bodenbeschaffenheit für die Umgrenzung der Florenreiche und Florenprovinzen außer Betracht fällt, daß sie aber innerhalb der einzelnen Florengebiete in erster Linie dazu beiträgt, die Pflanzen nach Standorten zu sondern, und so beim Zustandekommen der natürlichen pflanzlichen Vergesellschaftungen (Formationen, Assoziationen) wesentlich beiträgt.

Eine erhöhte pflanzengeographische Bedeutung kommt der Bodenbeschaffenheit jedoch da zu, wo die klimatischen Verhältnisse ungünstig sind und sich auf weite Gebiete annähernd gleich bleiben, wie z. B. in der Arktis und in der eigentlichen Hochregion der Gebirge: da schafft sie im Vegetationsbild die größten Gegensätze [102]): hier flache, äußerst einförmige Moos- und Flechtentundren und dort am nahen Abhang üppige arktische Blumenmatten mit ihrem bunten, farbenprächtigen Flor. Auf einen ganz ähnlichen, auf engem Raum sich abspielenden Wechsel haben wir bereits an anderer Stelle, bei Erörterung der Veränderungen der Hochgebirgsflora je nach Feuchtigkeitsgehalt der Unterlage, aufmerksam gemacht. Auch in den Grenzgebieten der Florenreiche spielt die Bodenbeschaffenheit eine pflanzengeographisch etwas

wichtigere Rolle. Mischen sich in solchen Gebieten doch die Formationen zweier, gelegentlich sogar dreier Florengebiete. Es bedarf oft nur scheinbar geringfügiger Unterschiede der edaphischen Verhältnisse, um der einen oder anderen Formation, bzw. Formationsgruppe den Vorrang zu sichern. So begegnen sich zwischen der nordischen Wald- und Baumgrenze silvestre (Hochstaudenfluren, Waldwiesen, Auenwälder, Erlenbrüche) und arktische (Zwergstrauchheiden, Tundrenmoor, arktische Matten, Felsfluren usw.) Formationen, ja selbst südliche xerophytische Steppenelemente vermögen hin und wieder bis in die Übergangstundra vorzudringen.

Die edaphische Auslese ist ganz besonders in solchen Grenz- und Übergangsgebieten an der Arbeit, und dies, weil viele Arten auf ein bestimmtes Zusammenwirken der exogenen Faktoren so genau abgestimmt sind, daß schon geringe Abweichungen derselben ihre Niederlage im Konkurrenzkampfe bedingen. *Schimper*[103]) weist darauf hin, daß eine solche floristische Zerstückelung des Bodens hauptsächlich durch physikalische Unterschiede bedingt ist, indem diese einen viel rascheren Wechsel und eine größere Mannigfaltigkeit als die chemische Bodenbeschaffenheit aufweisen. Zahlreiche amerikanische Forscher haben neuerdings auf einen weitgehenden Parallelismus zwischen dem Grad der Verwitterung eines Bodens und dessen Vegetationsdecke hingewiesen. Wo *Primula veris L. em. Huds.* und *Pr. elatior (L.). Schreb.* untereinander auftreten, da wird man schon von weitem an den Farbenverschiedenheiten der Blüten die von der ersteren bewohnten trockeneren von den feuchteren Stellen, welche die letztere besiedelt, unterscheiden. Schimper sah auf dem Simplon zwei zwergige Senecio-Arten, *S. incanus* und *S. uniflorus L.*, trockene, alpine Wiesen, oft dicht beieinander, aber niemals durcheinander bewohnen. Der großköpfige, seltene *S. uniflorus L.* fand sich nur da, wo der Wiesenboden sich als dünner Überzug über Steine und Felsen ausdehnte, während *S. incanus L.* ausschließlich tiefere Bodenstellen bewohnte. Der Bastard der beiden Arten zeigte sich an die Zwischenstellen der Stammarten gebunden. In den durch das Klima bedingten Gehölz- und Grasflurgebieten wirkt der Boden als sekundärer Faktor, der einerseits das Detailbild der Pflanzendecke beherrscht, andrerseits im Hygrophytenklima Xerophytenformationen ermöglicht, umgekehrt gibt es aber auch Fälle, wo in vorwiegend edaphischen Formationen dem Klima nur ein nuancierender Einfluß zukommt. Als edaphische Formation sind z. B. die Galeriewälder der Savannen und Steppengebiete zu bezeichnen. Sie sind an das Bereich der Infiltration von Flüssen und Seen gebunden, bald gebüschartig, bald aber so üppig, daß sie den Wäldern eines ausgesprochenen Waldklimas nicht nachstehen. Der Wald, hauptsächlich eine klimatisch bedingte Formation, kann aber lokal in sonst waldfeindlichen Gebieten eine edaphische Formation sein, wo dann sein Vorkommen streng an oberirdische oder unterirdische Wasseransammlungen gebunden ist, welche die mangelnden Niederschläge und Luftfeuchtigkeit zu ersetzen haben. In ähnlicher Weise sind auch die Oasen eine durch lokale Bodenverhältnisse bedingte Er-

scheinung, mitten hineingesetzt in die Wüste, einer klimatisch baumlosen Facies der Erdoberfläche.

Dasselbe gilt für die Auen- und Steppenwälder der südrussischen Steppengebiete in der Umgebung des Schwarzen und Kaspischen Meeres.[104]) Erstere halten sich an die Flußläufe, letztere stehen auf den Höhen, indessen die Abhänge und Ebenen waldlos sind. Der Steppenwald besteht ausschließlich aus Laubhölzern: die wichtigsten Bestandteile sind: *Quercus Robur L., Ulmus laevis Pallas, U. campestris L. em. Hudson, U. suberosa, Acer plcaanoides L., A. campestre L., A. tartarica, Fraxinus excelsior L., Tilia cordata Miller* mit *Corylus Avellana L., Ligustrum vulgare L., Prunus Padus L., Evonymus europaeus L.* und *E. verrucosus.* Der Grund der Waldlosigkeit der südrussischen Steppen kann nicht im Klima liegen, denn dasselbe ist in den Waldinseln und in der dicht daneben liegenden Steppe dasselbe; dagegen ist der Boden in diesen beiden Gebieten sehr verschieden und darin liegt die Erklärung dieses auffallenden Gegensatzes. Der Steppenboden ist salzhaltig. In den Regenschluchten und in den höher gelegenen Punkten wird der Boden zuerst ausgelaugt, indem das durch die Erde sickernde mineralstoffbeladene Wasser rascher einen Abfluß findet als auf der ebenen Fläche; auf diese Weise werden an diesen Stellen Verhältnisse geschaffen, die im sonst waldlosen, südrussischen Steppengebiet eine Ansiedlung von Wald erlauben. Daraus ergibt sich aber, daß die Waldlosigkeit dieser Ländereien nur edaphisch, nicht klimatisch bedingt ist. Der Steppenboden ist jedoch einer zwar sehr langsamen, aber beständigen Auslaugung unterworfen, daher muß der Wald allmählich auf Kosten der Steppe an Ausdehnung gewinnen. Dies ist nicht nur eine Hypothese, sondern eine durch die Bodenuntersuchungen des ausgezeichneten russischen Steppenforschers *G. J. Tanfiljew* (Odessa) bewiesene Tatsache. Auch die in Südrußland gemachten Aufforstungsversuche bestätigen diese Theorie. Wälder, welche zwischen 1840 und 1860 im Süden angepflanzt worden sind, zeigten 1890 noch ein gutes Aussehen, so daß selbst bedeutende Autoritäten für die Möglichkeit einer Bewaldung der Steppe eintraten. Doch im Verlauf der 90er Jahre begannen die Kulturen zu kränkeln und zum Teil rasch einzugehen. Als Ursache erwies sich das Erreichen einer weniger ausgelaugten Bodenschicht durch die Wurzeln. — Sorgfältige Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Bodenbeschaffenheit und Vegetation haben hauptsächlich russische Forscher durchgeführt.

Im Gegensatz zu den Beispielen, wo hygrophile Vergesellschaftungen in Trockengebieten an lokal wasserführenden Stellen auftreten, fehlt es auch nicht an umgekehrten Fällen. Stranddünen, trockene Gerölle und Felsfluren mit ihren offenen Formationen stellen sehr oft mehr oder weniger engbegrenzte, edaphisch-xerophytische Inseln dar, inmitten sonst ausgesprochener hygrophytischer Länderstrecken, die mit einer geschlossenen zusammenhängenden Vegetationsdecke versehen sind. Wo das Klima aber immer trockener wird, da gewinnen diese Bildungen mehr und mehr die Oberhand, sie sind nun nicht nur edaphisch, sondern auch klimatisch be-

dingt. Das gilt für Inlandsdünenbezirke, für Kies- (Reg) und Fels- (Hammada) Wüsten.

Auf eine für den Pflanzengeographen wichtige Tatsache hat zuerst wiederum der leider viel zu früh verstorbene geniale *F. W. Schimper*[105]) hingewiesen, auf den Unterschied von physikalischer und physiologischer Trockenheit bzw. Nässe des Bodens. Ein nasses Substrat kann für die Pflanze vollkommen trocken sein, wenn sie ihm kein Wasser zu entnehmen vermag, und der uns völlig trocken erscheinende Boden kann andrerseits doch noch soviel Feuchtigkeit enthalten, daß manche genügsamen Pflanzen hinreichend mit Wasser versorgt sind. Im ersteren Fall ist der Boden physikalisch naß, aber physiologisch trocken, im letzteren Fall tritt das umgekehrte Verhältnis ein, nur daß man dann eher von „physiologisch feuchtem Boden" sprechen wird. Es gibt drei Hauptfälle, bei denen nasser Boden physiologisch trocken ist. Dies trifft immer zu, wenn der Boden bis um den Nullpunkt abgekühlt und wenn derselbe einen bestimmten Gehalt an Humussäure oder Salz aufweist. Dauernde Ansiedler solcher nassen Standorte besitzen einen ausgesprochenen xerophytischen Bau. Falls die physiologische Trockenheit eines Bodens jedoch nur vorübergehend ist, zeigt die Flora nach wenigen Stunden deutliche Welkungserscheinungen.

Nur einer dieser Fälle soll noch eingehender erörtert werden. *J. Vesque, Kohl* und andere Autoren haben gezeigt, daß die Wasseraufnahmefähigkeit der Wurzeln durch Abkühlung sehr stark beeinträchtigt wird.[106]) Die von *J. Sachs*[107]) bereits 1860 mit Topfpflanzen vom Tabak und Raps ausgeführten Experimente ergaben, daß die Versuchspflanzen schon zu welken begannen, wenn der völlig mit Wasser durchsetzte Boden auf 4—2° C abgekühlt wurde. Es tritt bei dieser Abkühlung der Moment ein, wo der Wasserverlust der Blätter nicht mehr gedeckt werden kann. Wird die Abkühlung nicht zu weit getrieben und dauert sie nur kürzere Zeit an, so werden die Blätter mit der Erwärmung des Bodens wieder straff, weil die Wurzeln alsdann wieder genügend Wasser aufzunehmen vermögen.

Nach *O. Kihlmans* Beobachtungen in Russisch-Lappland können Erscheinungen des Verwelkens und Vertrocknens eintreten, wenn infolge kalter Regenschauer die Bodentemperatur stark herabgesetzt und dadurch der Saftstrom verlangsamt wird, besonders wenn gleichzeitig heftige Winde herrschen, welche die Transpiration noch steigern. — Im April 1899 hatte ich in Basel Gelegenheit an jungen Kastanien ähnliche Beobachtungen zu machen. Kaum belaubt, trat ein Temperaturrückschlag mit anhaltendem kalten Regen ein. Die Blätter wurden schlaff und welk, selbst einzelne Blattstiele fingen infolge des verminderten Turgors an, eine hängende Stellung einzunehmen. Sobald aber das Wetter wärmer wurde, nahm das Laubwerk wiederum normales Aussehen an. Die Roßkastanie *(Aesculus Hippocastanum L.)*, ein Baum des südlichen Balkans, zeigte sich viel empfindlicher als unsere einheimischen Baumarten, an

denen der Temperaturrückschlag keine so augenfällige Veränderungen zu bewirken vermochte.

Sehr anschaulich schildert *Kihlmann*[108]) die Wirkungen einer solchen Abkühlung auf die Vegetation als Folge eines Gewitters Ende Mai 1890 in Helsingfors, der Hauptstadt Finnlands. Nach mehrwöchentlicher Trockenheit fiel am 22. und 23. Mai etwas Regen (1·4 *mm*), die gleichzeitig herrschende hohe Temperatur hatte die Bäume zu frühzeitiger Laubentfaltung verlockt. Die Blätter von Eiche, Linde, Ahorn waren entfaltet, hatten aber noch nicht ihre normale Konsistenz erhalten, die der Roßkastanie waren teilweise in Knospenlage. Am 25. Mai nachmittags änderte sich die Windrichtung auf O. (vorher S.), gleichzeitig wuchs die Geschwindigkeit des Windes, bis sie sich in der Nacht vom 26. auf den 27. Mai zur Heftigkeit eines Orkanes steigerte. Während des ganzen Unwetters fiel die Temperatur nur auf + 2·1° C, durch den massenhaft herabströmenden kalten Regen (48·8 *mm*) wurde der Boden fast auf den Nullpunkt abgekühlt.

Alle großen Waldbäume, die an nicht genügend geschützten Stellen wuchsen, waren größtenteils entlaubt; das Laubwerk der übrigen arg verwüstet. Am meisten befremdend aber war, daß sämtliche Blätter, die noch vom Wasser förmlich trieften, schlaff und welk herabhingen. Die Kronen dieser Bäume hatten ganz das Aussehen, als ob sie abgeschlagen worden und dann mehrere Stunden in brennender Sonnenhitze gestanden hätten. Die mechanische Wirkung des Windes erfolgte erst, nachdem die Blätter durch das Welken den Turgor verloren hatten und so schlaff und welk geworden waren. Die turgescenten Blätter blieben auch mechanisch intakt. Die meisten Blätter konnten sich nicht mehr erholen. Es traten an ihnen vielmehr bald zahlreiche braune Flecken auf. Die Braunfärbung begann gleichzeitig an vielen naheliegenden, aber doch isolierten Stellen der jeweilen am meisten ausgesetzten Blattseite, und zwar in der Mitte der kleinsten Alveolen, das heißt an den Stellen, welche am weitesten von den leitenden Bahnen entfernt waren. Es kann sich also nur um eine Erscheinung des Austrocknens handeln, des Austrocknens bei gleichzeitig sehr gesteigerter Luft- und Bodenfeuchtigkeit.

Ein sehr interessantes Kapitel ist endlich das der Bodenstetigkeit. Die Großzahl der Blütenpflanzen scheint bodenvag zu sein; doch gibt es immerhin viele Arten, die eine Vorliebe für einzelne Bodenarten zeigen oder sogar völlig bodenstet sind. Überall kalkliebend scheinen zu sein: *Coronilla Emerus L.* und *Hippocrepis comosa L.*, kieselliebend dagegen: *Ulex europaeus L.*, *Sarothamnus scoparius (L.) Wimmer* et *Koch*, *Jasione montana L.*, *Digitalis purpurea L.* Die Alpenflora weist ganz besonders viele Beispiele von Arten, die vikarisierend auf Kalk- und Urgebirge auftreten, auf. So z. B. im:

a) Kalkgebirge:	*b)* Urgebirge:
Rhododendron hirsutum L.	Rh. ferrugineum L.
Achillea atrata L.	A. moschata Wulfen.

a) Kalkgebirge:	*b)* Urgebirge:
Androsace Chamaejasme Host.	A. obtusifolia All.
Gypsophila repens L.	Silene rupestris L.
Soldanella alpina L.	S. pusilla Baumg.
Sesleria coerulea (L.) Ard.	S. disticha (Wulf.) Pers.

Die Bodenstetigkeit führt gelegentlich zu außerordentlich auffälligen Tatsachen. An Hand der Flora wird der Botaniker in den krystallinischen Zentralalpen das Vorhandensein einer Kalkader rascher erkennen als der Geologe. *Straßburger* [109]) berichtet über einen Fall von der Riviera, wo in einem schmalen, aber viele Kilometer langen Streifen Kalkpflanzen auftraten, während die übrige Flora weit und breit auf Kieselboden hinwies. Die nähere Untersuchung ergab das Vorhandensein einer alten, mit Kalkstein bepflasterten Römerstraße. Auf den Schlacken von Creuzot hat sich zuerst eine Kalkflora angesiedelt, als aber der Kalk ausgelaugt war, traten Kieselpflanzen auf.

Der Serpentin, ein sehr schwer lösliches Magnesiumsilikat hat zwei ihm speziell angehörige Farnvarietäten, die früher als besondere Arten betrachtet worden sind: *Asplenium adulterinum Milde* die Serpentinform von *A. viride Huds.*, von eigenartigem Habitus, ausgezeichnet durch eine starke Konvexität der Blättchen und durch ihre senkrechte Lage zur Spindel. *Asplenium serpentini Tausch* gehört in den Verwandtschaftskreis von A. Adiantum nigrum L., unterscheidet sich aber durch am Grunde keilförmige Abschnitte und zartere, glanzlose, nicht überwinternde Blätter. Aus den höchst sorgfältig durchgeführten Untersuchungen von *Sadebeck* [110]) ergab sich, daß nach 7 Generationen die Stammart in die Serpentinvarietät oder umgekehrt diese in die Stammart übergeführt werden kann, womit ein direkter Einfluß des Serpentins auf die Organisation der Pflanzen erwiesen war. Nur auf Zinkboden findet sich das Galmeiveilchen (*Viola lutea Huds v. calaminaria Lej. pro sp.*), es unterscheidet sich durch reichere Verzweigung, verlängerte Stengel und kleinere Blüten: es ist in seinen sämtlichen Teilen zinkhaltig, dasselbe gilt für *Thlaspi calaminare Lej.* et Court. (Zinkoxydgehalt der Asche der Blätter 13·12%).

Kehren wir noch einmal zu den Kalkpflanzen zurück, so stehen sich zur Erklärung der angeführten Tatsachen zwei Auffassungen gegenüber [111]): 1. Die Kalktheorie, sie erklärt den Gehalt an kohlensaurem Kalk als maßgebend, und zwar in dem Sinn, als die Kalkpflanzen ihn in größerer Menge bedürfen bzw. ertragen, indessen die sogenannten Kieselpflanzen nach früherer Ansicht Kieselboden verlangen, nach neuerer Ansicht jedoch kalkscheu sind, das heißt, schon bei einem Kalkgehalt von mehr als 0·02—0·03% auf kalkfreieren Boden vertrieben werden. 2. Die Mineraltheorie. Nach dieser ist es nicht der Kalkgehalt des Bodens als solcher, sondern der mit ihm parallel gehende größere mineralische Nährstoffgehalt, welcher die sogenannten „Kalkpflanzen" begünstigt. Demnach unterscheidet man eutrophe und oligotrophe Pflanzen, erstere bewohnen Boden mit viel, letztere mit geringem Nährstoffgehalt.

Ein sehr interessantes Verhalten zeigt die zahme Kastanie. Nach *Fliche* und *Grandeau* [112]) meidet sie kalkreiche Böden, nach *Chatin* [113]) soll ein 3% Kalkgehalt des Bodens auf dieselbe schon tödlich wirken: ganz allgemein ist ihre Vorliebe für kieselsäurereiche Böden bekannt. *A. Engler* [114]) (Zürich) hat in einer sehr eingehenden Studie über diese Frage zunächst darauf hingewiesen, daß *Castanea vesca* im Gebiet des Vierwaldstätter- und Zugerseegebietes fast ohne Ausnahme auf sehr kalkreichem Boden stockt. Auf Grund von vergleichenden Bodenanalysen kommt nun *Engler* zum Ergebnis: Die Kastanie verlangt meistens kieselsäurereiche Böden, und zwar deshalb, weil es fast ausschließlich Silikate sind, die das Kali, diesen wichtigen und im Boden spärlich vorkommenden Nährstoff, stark absorbieren und den Pflanzen zuführen. Wir würden daher richtiger sagen: die Kastanie ist eine sehr kalibedürftige Pflanze. In kieselsäurearmen Böden unterliegt aber das Kali infolge der fortschreitenden Verwitterung sehr leicht der Auswaschung. Das trifft besonders zu, wenn der Kalk keine oder nur wenig Tonerde enthält, unsere Jura- und Kreidekalke, die Nagelfluh und viele Kalkmergel der schweizerischen Molasse enthalten dagegen viel Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd (60—96%) und geben daher bei der Verwitterung kräftige, stark absorbierende Böden. Schon *Fliche* und *Grandeau* haben darauf hingewiesen, daß bei Kalkreichtum des Bodens die Aufnahme von Kali beeinträchtigt wird und dies ist wohl die Hauptursache, daß die Kastanie Kalkboden meidet. Auch *Engler* konstatiert einen bedeutend kleineren Gehalt der auf Kalkboden gewachsenen Pflanzen an Kali, trotzdem die chemische Analyse im Kalkboden mehr Kali (0·16%) festgestellt hat als im Kieselboden (0·03%). Es ist also nicht der Kaligehalt an und für sich, sondern die Form, in der derselbe auftritt und mit der auch seine Zugänglichkeit für die Pflanze im engsten Zusammenhange steht.

Neben der chemischen und physikalischen Bodenbeschaffenheit spielt jedoch offenbar auch noch die Konkurrenz eine maßgebende Rolle. Nach *C. v. Nägeli* [115]) sind in den Graubündner Alpen *Achillea atrata L.* und *A. moschata* Wulfen da bodenvag, wo ihr Konkurrent fehlt. Kommen aber in einem engeren Bezirke beide Arten vor, so bleibt A. atrata L. stets auf dem Kalk, indessen A. moschata streng an den Kiesel gebunden ist. *Bonnier* [116]) hat zuerst experimentelle Untersuchungen über den Einfluß des Kalkes auf die Pflanzenstruktur durchgeführt. Es gelang ihm nachzuweisen, daß *Ononis Natrix L.* auf kalkarmem Boden eine andere Physiognomie besitzt, als auf dem meist vorgezogenen Kalkboden. Nach *Schimper* ist die Ursache solcher Unterschiede offenbar dadurch bedingt, daß eine auf kalkreichem Substrat gewachsene Pflanze einen anders beschaffenen Organismus darstellt und daher andere physiologische Eigenschaften und eine andere Ökologie besitzt, als eine auf kalkarmem Substrat gewachsene.

So gelangte man zur Erkenntnis, daß das Problem der Bodenfrage verwickelter ist, als man ursprünglich annahm. Auch die Begriffe bodenvag, bodenhold, bodenstet haben meistens nur einen mehr oder weniger

relativen Wert. In einem anderen Gebiete kann eine bei uns als kalkholde Art bekannte Pflanze bodenvag sein oder sogar vorzugsweise auf Kieselboden auftreten *(Bonnier)*. Nach *L. Diels* [117]) ergibt sich, daß die Arten im Mittelpunkt ihrer Areale edaphisch mehr oder weniger indifferent sind, dagegen um so empfindlicher, je mehr sie sich den Grenzen ihrer Verbreitungsareale nähern.

Aus all diesen Tatsachen müssen wir endlich den Schluß ziehen, daß chemische und physikalische Bodeneigenschaften, beeinflußt durch wechselnde klimatische Faktoren und die Konkurrenz anderer Arten, in verschiedener Kombination auf die Pflanzen einwirken und sich je nach der Empfindlichkeit des Objektes auf kürzere oder größere Entfernung gegenseitig zu ersetzen oder in ihren Wirkungen aufzuheben vermögen.

6. Die Organismenwelt.

Das Studium der wechselseitigen Beziehungen der Organismen als pflanzengeographischer Faktor ist lange Zeit sehr vernachlässigt worden, ja sogar heute noch wird derselbe in seiner verbreitungsbestimmenden Bedeutung vielfach unterschätzt. Unter den exogenen Kräften, die auf die Arealumgrenzung der Arten von entscheidendem Einfluß sind, ist nach meiner Überzeugung der biotische Faktor unmittelbar nach Feuchtigkeit, Wärme und Licht zu stellen.

Die gegenseitige Bedingtheit der Lebewesen und ihre soziale Abhängigkeit voneinander ist wohl eine Hauptursache, daß die Arten zu bestimmten Formationen vereinigt sind, Formationen, die bald in ihrem Wechsel, bald in ihrer Gleichförmigkeit weite Länderstrecken bedecken, und in ihrer Gesamtheit die wechselvollen Vegetationsbilder, die unsere Erde aufweist, bedingen. So auffällig auch diese Verkettung bestimmter Arten zu Pflanzenvereinen ist, so wenig abgeklärt ist in vielen Fällen immer noch die Frage, ob eine wirklich gegenseitige Abhängigkeit vorhanden oder ob ihre Vereinigung nur eine Folge bestimmter äußerer Faktoren ist, die außerhalb der zu einer Genossenschaft verbundenen Arten liegen.

Wo Parasitismus und Hemiparasitismus vorliegt, wie z. B. bei chlorophyllhaltigen Zweigschmarotzern: so bei der Mistel, *Viscum album L.* und bei der Riemenblume, *Loranthus europaeus Jacq.*, bei chlorophyllosen Wurzelvollschmarotzern (der Schuppenwurz, *Lathraea Squamaria L.*) oder bei chlorophyllhaltigen Hemiparasiten, wie es *Thesium*, *Euphrasia*, *Bartsia* sind, da ist das Abhängigkeitsverhältnis des Schmarotzers von der Wirtspflanze klar. Wenn es sich um spezialisierte Parasiten handelt, die nur auf einem einzigen Wirte oder doch nur auf wenigen verwandten Arten zu gedeihen vermögen, da ist deren Verbreitung naturgemäß an die der Wirtspflanzen gebunden und kann nicht über diese hinausgehen. Die Areale werden sich annähernd decken, falls die beiden Arten klimatisch ungefähr gleich abgestimmt sind oder wenn die Kardinalpunkte der verschiedenen

Lebensfunktionen beim Parasiten eine größere Amplitude aufweisen als bei der Wirtspflanze. Ist das Umgekehrte der Fall, so wird das Areal des Parasiten innerhalb desjenigen der Wirtspflanze liegen. Im ersteren Fall ist die Arealumgrenzung des Parasiten bedingt durch diejenige seiner Wirtspflanze; bei der letzteren Annahme sind in erster Linie andere Faktoren maßgebend. Da die meisten unserer phanerogamen Parasiten gewöhnlich jedoch einen ausgedehnteren Wirtenkreis besitzen, wird mithin ihr Verbreitungsareal entweder mit dem Gesamtareal sämtlicher Wirtspflanzen zusammenfallen, oder dann innerhalb desselben zu liegen kommen.

Ist dieser Fall ziemlich klar, so wird die Frage schon schwieriger, wo ein solches direktes Abhängigkeitsverhältnis zweier Arten nicht vorliegt. Ich denke da etwa an die Unterflora unserer Laubholzwaldungen. So bezeichnet *Höck* z. B. die oberirdisch kriechende *Lysimachia nemorum L.*, *Anemone nemorosa L.* mit unterirdischen Kriechtrieben, *Milium effusum L.*, *Mercurialis perennis L.*, der Waldmeister, *Asperula odorata L.*, *Sanicula europaea L.* mit ortsstetem Rhizom, *Allium ursinum L.*, eine Zwiebel- und *Arum maculatum L.*, eine Knollenpflanze, als Buchenbegleiter. Oder, um gleich noch ein anderes Beispiel aufzuführen, erinnern wir an unsere Hochmoore, die eine sehr bezeichnende und immer wiederkehrende Gesellschaft beherbergen, so z. B. *Drosera intermedia Drer.* und *Hayne*, *Oxycoccus quadripetalus Gilib.*, *Andromeda poliifolia L.*, *Vaccinium uliginosum L.*, *Scheuchzeria palustris L.*, *Eriophorum vaginatum L.*, *Rhynchospora alba (L.) Vahl*, *R. fusca (L.) R. Br.*, verschiedene *Carices*, *Lycopodium inundatum L.* u. a. m.

Die beiden Fälle scheinen mir prinzipiell verschieden zu sein. Die oben genannte Begleitflora des Buchenwaldes ist in der Hauptsache an zwei Standortsbedingungen gebunden: an gedämpftes Licht und an milden, humusreichen, lockeren, d. h. durchlüfteten Boden. Beide werden in unseren Breiten hauptsächlich durch die Buche geschaffen. Anders bei den Hochmoorpflanzen. Alle diese Arten scheuen mineralreiches Wasser; die wichtigsten bestandbildenden *Sphagna* sind geradezu kalkfeindlich. Nach *M. Düggeli* genügt eine zwei- bis dreimalige, geringe Bestäubung mit Kalkpulver, 4 *g* auf die Parzelle von 30 *cm* Seitenlänge, um die Torfmoose zum Absterben zu bringen; immerhin gibt es nach *Paul* auch einzelne Sphagnumarten, die kalkhold sind. Es sind dies mithin in erster Linie edaphische Verhältnisse, die nicht erst durch die Vegetation zustande kommen, sondern schon vorher da sind, und welche diejenigen Pflanzen, denen ein mineralreicher Boden nicht zusagt, zur Ansiedlung veranlassen. Immerhin halten sich die Hochmoorpflanzen streng an die Sphagneen. Wenn man daher von „Sphagnumbegleitern“ spricht, so hat dies Wort eine etwas andere Bedeutung als die Bezeichnung „Buchenbegleiter“. Dort ist die Vereinigung der Arten vorwiegend eine Folge einer bestimmten Bodenbeschaffenheit, hier dagegen hauptsächlich das Ergebnis biotischer Beziehungen.

Der Buchenwald tritt übrigens noch in einer zweiten Facies auf, die eine recht differente Begleitflora hat. *Deschampsia flexuosa (L.) Trin.*,

ein fadenblätteriges, xerophil gebautes Gras, das weiche, dichte Rasen bildet, ferner der zierliche Siebenstern *(Trientalis europaea L.)*, die Schattenblume *(Majanthemum bifolium (L.) F. W. Schmidt)*, der Halbparasit *Melampyrum pratense L.* und mehrere Moose, unter denen *Polytrichum formosum Hedw.* und *Leucobryum glaucum (L.) Schimp.* tonangebend sind, bilden die Bodendecke. Trockener, kompakter, saurer Rohhumusboden, durchzogen von Wurzeln und Pilzmycelien, der nicht von Regenwürmern durchwühlt und nicht durchlüftet wird, in dem daher Humussäuren entstehen können, bildet die Grundbedingung der Bildung dieser Variante. Dieser Wald ist meist offener, die Laubdecke öfters verweht. Gelegentlich stellen sich auch *Calluna* und *Vaccinium Myrtillus L.* ein, dann nähert sich der Boden demjenigen der Callunaheide. Tritt diese in reichlicherer Menge auf, so kann nach *E. Warming* [118]) die natürliche Verjüngung der Buche nicht länger vor sich gehen. Der Buchenwald verschwindet schließlich an vielen Stellen und macht der Callunaheide Platz *(P. E. Müller)* — ein Vorgang, der in Norddeutschland und Dänemark häufig, im voralpinen Gebiet aber nicht vorkommt.

Für das Gebundensein vieler Arten an bestimmte Formationen und damit auch an deren Verbreitungsareale gibt es noch zahlreiche Beispiele. Wir greifen zwei heraus: Lianen bedürfen der Stütze, daher sind sie hauptsächlich an den Wald oder doch wenigstens an die Gebüschformationen gebunden; so vermag ihre Verbreitung nicht über diejenige des Waldareals hinauszugehen. Waldlose Gebiete entbehren der Lianen. Die Polargrenze des sommergrünen Laubwaldes wird mithin auch die absolut mögliche Nordgrenze der Lianen sein. Die meisten Schlinggewächse machen als Pflanzen von größeren Wärmeansprüchen jedoch schon vorher Halt, zuerst *Lonicera Caprifolium L.* und *L. Periclymenum L.*, später *Tamus communis L.*, *Humulus Lupulus L.*, *Hedera Helix L.* und *Clematis Vitalba L.*

Auch unsere Halosaprophyten, die chlorophyllosen, phanerogamen Fäulnisbewohner des mikrothermen europäischen Waldes: *Monotropa*, *Corallorrhiza*, *Epipogium*, *Neottia* bilden eine höchst bezeichnende Florula, eine Vergesellschaftung von Arten, die wiederum an den Boden ganz bestimmte Anforderungen stellt, welche nur durch langandauernde Lebenstätigkeit einer üppigen Waldvegetation zustande kommen. Solche Bodenarten zeigen, da sie infolge der Zersetzung einer, wenn auch vielleicht heute verschwundenen, doch jedenfalls einst vorhandenen Pflanzendecke entstanden sind, immer einen mehr oder weniger großen Humusgehalt. Im Gegensatz zum Rohboden, der als ein unmittelbares Verwitterungsprodukt der Lithosphäre zu betrachten ist, sind es Humusböden, an deren Aufbau auch die Pflanzenwelt in mehr oder weniger erheblichem Maße beteiligt ist. Alle Humuspflanzen sind in ihrer Verbreitung nicht nur an Humusboden gebunden, sondern sogar meistens an ganz bestimmte phytogene Vergesellschaftungen, die ihrerseits wieder dem Boden diejenigen Eigenschaften verleihen, welche deren Begleitflora erst ermöglichen.

So ergibt sich eine gegenseitige Bedingtheit vieler Pflanzen. Doch auch eine Bedingtheit der Pflanzen durch Tiere spielt als pflanzengeographischer Faktor eine gewisse Rolle. Unter diesen Gesichtspunkt fallen einerseits zahlreiche Fälle von Insektenbestäubung, anderseits die zoochore Ausbreitung vieler Gewächse, die oft für ganze Familien von entscheidender Bedeutung ist.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß gewisse Pflanzen in ihrer ganzen Existenzmöglichkeit an bestimmte Bestäuber gebunden sind. Die Gattung *Aconitum* ist zur Hervorbringung von Samen ganz auf Hummeln *(Bombus)* angewiesen. Einzig dieses Insektengenus vermag erfolgreiche Bestäubung zu bewirken. Da die Bombusarten auch anderen Blüten ihre Nahrung zu entnehmen vermögen, so reicht ihr geographischer Bezirk über das Areal von Aconitum hinaus, mit anderen Worten, es gibt nirgends Aconitumarten, wo nicht auch Vertreter der Gattung Bombus vorkommen, und das Verbreitungsareal der Eisenhute liegt innerhalb demjenigen der Hummeln.

Die Vanilla *(Vanilla planifolia Andr.)*, eine kletternde Orchidee, bringt ohne Zutun des Menschen nur in ihrer mexikanischen Heimat Früchte. Nach *Delteil*[119]) sollen Kolibris und Bienen aus der Gattung *Melipona* die Bestäubung vermitteln. In den wichtigsten Vanille-Produktionsländern: Westindien, Mauritius, Bourbon, Java muß die Bestäubung künstlich vorgenommen werden.

Neben Wasser und Wind hat bei pflanzlichen Wanderungen und Arealerweiterungen endlich auch das Tier eine wichtige Aufgabe zu erfüllen. Ohne auf das weitschichtige Material näher einzugehen, sei nur daran erinnert, daß fleischige Früchte und Beeren hauptsächlich durch Vögel verzehrt und die von den Verdauungssäften in ihrer Keimfähigkeit nicht beeinträchtigten Samen oft weit verschleppt werden. Früchte oder Samen mit Stacheln, Widerhaken, Klebdrüsen bleiben an vorbeistreifenden Tieren haften und werden auf diese Weise in größerer Entfernung von der Mutterpflanze zur Keimung gelangen können. Zahlreiche eingehende Studien der neueren Zeit, besonders die schönen Arbeiten von *Lundström*, *Kerner v. Marilaun* und von *R. Sernander*[120]) haben ergeben, daß eine ganze Reihe von Pflanzen der Ameisenverbreitung angepaßt ist. Es sind besonders Samen mit großer Nabelschwiele, wie das Schöllkraut (*Chelidonium majus L.*), mehrere Lärchensporne *(Corydalis)* und Veilchenarten *(Violae); Möhringia muscosa L., Cyclamen europaeum L.* usw. Die Ameisen fressen nur die Nabelscheiben ab, lassen dann aber die in ihrer Keimfähigkeit nicht beeinträchtigten Samen liegen. Die Samen der Myrmekochoren sind stete Begleiterinnen der Ameisenstraßen. Wieder andere Ameisen werden durch die Nektar absondernden Haare des Wachtelweizens angelockt. Die coconähnlichen Samen von *Melampyrum pratense* werden von den Ameisen gleichzeitig mit Larven und Puppen in Sicherheit gebracht. Die Samen gleichen nach Größe, Form, Farbe und Gewicht ganz den Ameisencocons. *Lundström* ist der Ansicht, daß es sich in diesem Fall um

eine Art Mimicry handelt, durch welche die Ameisen getäuscht, zur Verbreitung der Samen veranlaßt werden.

Wenn somit einerseits bestimmte Gewächse an die Anwesenheit und Verbreitung gewisser anderer Pflanzen oder Tiere gebunden sind, so kommt andrerseits auch dem umgekehrten Fall, daß sich zwei oder mehrere Organismen gegenseitig ausschließen, eine nicht zu unterschätzende phytogeographische Bedeutung zu. Das Fehlen vieler Arten ist sehr oft in der erfolgreichen Konkurrenz durch andere Pflanzen begründet. In Hochgebirgen nimmt mit zunehmender Meereshöhe die Menge und Größe unbesiedelter oder doch nur locker bestockter Bodenstellen zu, andrerseits vermindert sich gleichzeitig die Zahl der Bewerber um dieselben. Aus diesen Verhältnissen erklärt sich das viel häufigere Einwandern von Ebenenpflanzen ins Gebirge, gegenüber dem verhältnismäßig selten erfolgreichen Herabsteigen von Alpenpflanzen nach tieferen Höhenstufen. *L. Marret* [121]) hat neuerdings wieder in eingehender Weise auf diese Tatsachen hingewiesen. Hier einige Beispiele von hohen und höchsten Standorten von Ebenenpflanzen in den Walliser und Tessiner Alpen, die wir den Katalogen von *H. Jaccard* [122]) und *P. Chenevard* [123]) entnommen haben.

Ranunculus bulbosus L., Caralina, Kt. Tessin bis 2250 *m.*

R. bulbosus L., auf Riffelalp bis 2300 *m.*

Bellis perennis L., Chanrion, Val de Bagne nach *R. Chodat* noch bei 2400 *m.*

Stellaria media (L.) Vill. am Großen St. Bernhard bei 2470 *m.*

Capsella Bursa pastoris, (L.) Medikus, nach *K. Hager* im Val Russein bei 2250 *m;* am Großen St. Bernhard noch bei 2470 *m.*

Chrysanthemum Leucanthemum L. bis 2500 *m.*

Silene vulgaris (Mönch) Garke am Riffel bei 2550 *m.*

Dryopteris filix mas (L.) Schott, am Pizzo Campolungo noch bei 2640 *m.*

Cystopteris fragilis (L.) Bernh., in den Tessiner Alpen bis 2700 *m.*

Anthoxanthum odoratum L. bis 2800 *m.*

Taraxacum officinale Weber, am Gorner Grat sogar bis 3000 *m.*

Diese hohen Standorte sind zum Teile allerdings an Düngstellen, die unter dem direkten oder indirekten Einfluß des Menschen entstanden sind, gebunden.

Umgekehrt sind rezente, tiefe Standorte echter Alpenpflanzen nicht häufig: sie finden sich in den Alluvionen von Flüssen, an Seeufern, an Felsen feuchtschattig frischer Lagen, also überall da, wo durch eine Auflockerung der Vegetationsdecke die Konkurrenz lokal vermindert ist. Das „Gäsi“, das Mündungsgebiet der wilden Linth in den Wallenstadtersee, die Schluchten und Alluvionen der Gebirgsbäche des Kt. Tessins sind zwei Beispiele von Tieflagen, die verhältnismäßig reiche Ausbeute alpiner Pflanzen ergeben. Doch nur ganz ausnahmsweise wird man Alpenpflanzen außerhalb dieser gegebenen Wanderlinien als Bestandteile pflanzlicher Ver-

gesellschaftungen der Niederungen antreffen. Da Alpenpflanzen bei angemessener Behandlung und vor allem unter Ausschaltung der Konkurrenz in der Ebene mit Erfolg gehalten werden, so kann nicht das veränderte Klima, sondern einzig der Mitbewerb der dem Niederungsklima besser angepaßten Flora die Ursache dieser Erscheinung sein.[124])

Wo Alpenpflanzen wirklich zu einem integrierenden Bestandteil von Formationen tiefer Lagen geworden sind, da handelt es sich wohl fast immer um Relikten. Als charakteristische Arten der xerophilen, Steppencharakter tragenden Felsenheide finden sich im Haupttal des Wallis, zwischen 460 und 600 *m* Meereshöhe, neben *Stipa pennata L.*, *Koeleria vallesiana (All.) Bertol.*, *Festuca vallesiaca Gaud.*, auch *Primula hirsuta All.*, *Saxifraga exarata Vill.*, *Draba aizoides L.* usw. Verglichen mit Belegpflanzen aus der eigentlich alpinen Heimat, zeigen diese Arten gewisse konstante Abänderungen, die zum Teile sogar zur Aufstellung besonderer Formen geführt haben. Daraus ergibt sich, daß diese Kolonien als Relikten zu deuten sind. Da das wallesische Rhonetal noch zur letzten Eiszeit ganz mit Eis bedeckt war, so muß dessen heutige Pflanzenwelt postglazialen Ursprungs sein. Nach *L. Marret*[125]) findet das Nebeneinanderauftreten von so verschiedenen Florenbestandteilen seine Erklärung in dem mehrfachen Wechsel von feuchteren und kälteren (ozeanischen) Zeitabschnitten mit trockenen und heißen (kontinentalen) Perioden.

Der auf quelligen Stellen der kiesigen Grenzzone des Bodensees bei nur 396 *m* auftretende gegenblättrige Steinbrech (*Saxifraga oppositifolia L.*) unterscheidet sich deutlich vom alpinen Typus. Die als *var. amphibia Sündermann* benannte Abweichung ist in allen Teilen robuster, die Rasen lockerer, die Stämmchen leicht wurzelnd, die Laubblätter spärlicher bewimpert und die Blüten auffallend größer. Sie wird allgemein als Glazialrelikt gedeutet. Die deutliche Abweichung von der Alpenform und die Schwimmunfähigkeit ihrer Samen lassen diese Auffassung als berechtigt erscheinen.[126])

Bei Gelegenheit meiner monographischen Bearbeitung der Arve in der Schweiz bin ich der Frage der Ursache des Rückganges von *Pinus Cembra L.*[127]) nachgegangen. Noch vor verhältnismäßig kurzer Zeit war man gerne bereit, zur Erklärung solcher Tatsachen entsprechende Klimaänderungen anzunehmen. Die schönen Ergebnisse der in den letzten Jahrzehnten ausgeführten Arvenanpflanzungen und größeren Aufforstungen in den Voralpen und in vielen Teilen Deutschlands haben aber ergeben, daß das Klima auch heute in Mitteleuropa nicht nur das normale Aufwachsen der Arve erlaubt, sie bringt es hier auch zur Samenreife. Die Samen keimen und in mehreren Fällen ist festgestellt worden, daß in diesen Tieflagen sogar wieder keimfähige Samen zweiter Generation erzeugt worden sind. Von nachteiligem Einfluß ist außerhalb des natürlichen Verbreitungsbezirkes der Arve einzig der Mitbewerb anderer, schnellwüchsigerer Holzarten und die üppige Begleitflora des Graswuchses oder hochwüchsige Krautfluren. In den ersten Entwicklungsstadien werden ganz be-

sonders die beiden letzteren Vergesellschaftungen den jungen Sämlingen verhängnisvoll, indem sie den Jungwuchs unterdrücken. Wo der Mensch durch sein zielbewußtes Vorgehen diesen Faktor ausschaltet, da vermag die Arve zu gedeihen. Es ist somit, neben der Schwierigkeit der Verbreitung der schweren ungeflügelten Samen über das heutige Areal hinaus und neben dessen hohen Anforderungen an das Keimbett hauptsächlich der erfolgreiche Wettbewerb lebenskräftigerer Arten, die der Ausbreitung der Arve nach den tieferen Lagen im Wege steht.

Für die Bergföhre (*Pinus montana Miller*[128]) ist *P. E. Müller* auf Grund eingehender Studien zu einem ähnlichen Ergebnis gekommen. Nicht die direkten Ansprüche an Klima und Boden sind für die Verbreitung der Bergkiefer in erster Linie maßgebend, sondern die Konkurrenz anderer rascher wachsender und stark schattender Bäume, namentlich diejenige der Fichte. Ihnen gegenüber ist die Bergkiefer durch ihr langsameres Wachstum und ihr größeres Lichtbedürfnis im Nachteil und wird deshalb überall auf die schlechteren Standorte zurückgedrängt, wo ihre Konkurrenten nicht mehr zu gedeihen vermögen; es ist gleichsam ein Lückenbüßer, der diejenigen Räume ausfüllt, die von den anderen Holzarten verschmäht werden. Zu denselben Ergebnissen kommt *St. Brunies*[129]) auf Grund seiner eingehenden Studien über die Bergföhre im Ofenberggebiet.

Auch pflanzliche oder tierische Schädlinge können der weiteren Ausbreitung einer Art hindernd im Wege stehen. Die Fichte fruktifiziert bis in die Nähe ihrer Polargrenze noch ziemlich häufig. Nach *A. Osw. Kihlman*[130]) ist aber die Zapfenbildung nicht immer mit einer entsprechenden Samenproduktion verbunden. Gar oft sind die Zapfen taub, ihre Ausbildung somit für Erhaltung und Ausbreitung der Art in diesen Kampfgebieten des Baumwuchses bedeutungslos. Die Ursache ist eine kleine Gallmücke *(Cecidomya Strobi)*, die ihre Larvenkammern an der Basis der Zapfenschuppen anlegt, wobei die Zapfen abortieren. So kann dieser Schädling die Samenbildung mehr oder weniger vollständig unterdrücken. Dies scheint ganz besonders in der Nähe der Baumgrenze der Fall zu sein; schon im südlichen Skandinavien ist diese Gallmücke verhältnismäßig selten und verursacht nie solche Schädigungen.

Jeder Besucher der Alpen kennt die herrlichen Blumenmatten, wie sie uns auf der sog. Urweide, auf Wildheuplanken und Heubergen entgegentreten. Werden solche Stellen regelmäßig von Groß- oder Kleinvieh bestoßen, so hat dies in wenigen Jahren eine tiefgreifende Veränderung der ganzen Vegetationsdecke zur Folge. Tritt und Biß des Weideviehs, oder die mit der Bestoßung verbundene natürliche Düngung des Bodens sagen einer großen Zahl von Pflanzen nicht zu, diese gehen allmählich ein, indessen andere Arten, die diesen Veränderungen gewachsen sind oder durch sie sogar in ihrer Vegetationstätigkeit gefördert werden, mehr und mehr an ihre Stelle treten. Durch diese Eingriffe ist in der ursprünglichen Vergesellschaftung der zwischen den einzelnen Lebensformen im Verlauf der Zeit zustande gekommene Gleichgewichtszustand gestört

worden. Das Endergebnis ist das Auftreten einer neuen Gleichgewichtslage, d. h. das Zustandekommen einer durch wirtschaftliche Verhältnisse bedingten Halbkultur der Weide. Gegenüber dem ursprünglichen Zustand bedeutet dieser Vorgang eine Verarmung und Trivialisierung der Flora.

Aus diesen wenigen Andeutungen ergibt sich somit, daß auch die Organismenwelt in mannigfachster Weise fördernd und hemmend die Ausbreitung der Arten beeinflußt. In unserem Zeitalter des Weltverkehrs kommt aber keinem Lebewesen eine so ausschlaggebende Bedeutung auf die Pflanzendecke der ganzen Erde zu, wie dem Menschen, und dies heutzutage mehr als zu irgend einer anderen Periode. Die verschiedenen Verkehrsstraßen, die Lager- und Stapelplätze der Großstädte sind die Einfallstore fremder Florenbestandteile. Pontische Steppenelemente machen auf den Eisenbahnlinien, die ja mit ihren rasch austrocknenden Kiesmassen Steppenverhältnisse nachahmen, erfolgreiche Vorstöße nach Mitteleuropa. Zahlreiche amerikanische Eindringlinge werden mehr und mehr zu Neubürgern unserer Flora und schließen sich den einheimischen Pflanzenvereinen an. Die immer weiter fortschreitende und intensivere Ausnützung des Bodens drängt die ursprüngliche Pflanzenwelt auf abgelegene, kleiner und kleiner werdende Bezirke zurück. Die Kultur ist der größte Feind der Natur.

Dieser nicht aufzuhaltende Prozeß kann den Naturfreund und Naturforscher nur mit Wehmut erfüllen. Einigermaßen versöhnend wirken die der neuesten Zeit angehörenden Naturschutzbestrebungen, die erfreulicherweise in den breitesten Volksschichten fast aller Kulturländer verständnisvolle und freudige Aufnahme gefunden haben. Schutz hervorragender Naturdenkmäler, Schaffung von Reservationen und Nationalparken sind ihre wichtigsten Zielpunkte. Hoffen wir, daß diese Bemühungen dazu führen, zu Nutz und Frommen der Nachwelt das einigermaßen wieder gut zu machen, was frühere Generationen versäumt haben.[131])

7. Die Individualität.

Die Individualität spielt in der Pflanzengeographie die Rolle einer noch vielfach unbekannten, unberechenbaren Größe, d. h. wenn wir auch über die exogenen Faktoren genau informiert sind, wird es doch nicht möglich sein, rein theoretisch das Verbreitungsgebiet einer Art zu bestimmen, und dies hauptsächlich deshalb nicht, weil die verschiedenen Pflanzenspezies auf ein und dieselbe Kraft ganz verschieden reagieren, und wir in den meisten Fällen ohne eingehende, langjährige Kulturversuche nicht in der Lage sind, aus ihrem Bau und ihrem experimentell festzustellenden physiologischen Verhalten einigermaßen zwingende Rückschlüsse auf ihre Reaktionsfähigkeit zu ziehen. Die Erkenntnis der Amplitude der verschiedenen Reaktionsfähigkeiten ist eine Erfahrungssache, die für jeden einzelnen Spezialfall festgestellt werden muß. Nah verwandte und habituell sehr ähnliche Arten verhalten sich in dieser Hinsicht sehr ver-

schieden, indessen im System weit voneinander abstehende und differente Typen größte Übereinstimmung zeigen können.

Die Zahl der Arten, bei denen der Bau der Pflanze auf deren Wohngebiet Rückschlüsse zu ziehen erlaubt, oder gar Fälle, in denen es möglich wäre, dasselbe einigermaßen zuverlässig zu umgrenzen, sind im Verhältnis zur großen Zahl der bekannt gewordenen Phanerogamen recht bescheiden.

Fig. 134.



Phot. Oberförster Puenzieux.

Windform eines Kirschbaumes bei Yvorne.

Die Frage gestaltet sich dadurch noch schwieriger, als einerseits die Reaktionsfähigkeit der Pflanzen sich in ihren verschiedenen Entwicklungsstadien ändert, und andrerseits sogar, wie die Akklimatisationen lehren, die Reaktionsfähigkeit einer Art auch wieder eine innerhalb gewisser Genzen variable Größe ist.

Das tiefere Erfassen der inneren Veranlagungen der Pflanzen ist ein noch beinahe brach liegendes Arbeitsfeld, die ungenügende Kenntnis der Individualität und ihrer wirklichen Ursachen bedeutet für die pflanzengeographischen Anschauungen der Wechselbeziehungen zwischen Wohnort und Spezies eine recht empfindliche Lücke.

Erörtern wir zunächst einige extreme Beispiele: Die Figuren 134 und 135 veranschaulichen je einen allein freistehenden Kirsch- und Apfelbaum[183]), aufgenommen im wallesischen Rhonetal, in der Gegend von Martigny und Yvorne. Bei Branson sah ich wenige Schritte voneinander entfernt sogar mehrere solcher Bäume demselben periodisch auftretenden Talwind ausgesetzt. Beide sind zur Windform geworden, aber wie verschieden ist doch das

Bild. Beim Kirschbaum ein aufrechter Stamm, mit scharf einseitiger, vorwiegend in einer Ebene windfahnenartig entwickelter Krone; es sieht aus, als ob alle Äste auf der einen Seite mit der Axt entfernt worden wären. Der Apfelbaum dagegen hat die Zweige einseitig überhängend und peitschenartig verlängert, so daß das Astwerk des Baumes einigermaßen an eine Trauerweide erinnert. Beide Bäume waren derselben Windstärke und derselben Winddauer ausgesetzt. Die Windform an und für sich ist das

Fig. 135.



Phot. Oberförster Puenzieux.

Windform eines Apfelbaumes bei Martigny (Wallis).

Produkt der Windwirkung, die Art der Windform dagegen das Resultat der verschiedenen Reaktionsfähigkeit der beiden Holzgewächse.

Ein anderes, in der botanischen Fachliteratur viel zitiertes Beispiel ist das Überwintern von *Cochlearia fenestrata*, beobachtet von *F. R. Kjellman* [133]) bei Gelegenheit der Überwinterung der Vegaexpedition bei Pitlekay, an der Nordküste der Tschuktschenhalbinsel. Es gibt wenige Gegenden auf der Erde, welche ein so strenges Winterklima besitzen, wie die Stelle, an welcher die Vegaexpedition überwinterte. Die Kälte war sehr anhaltend und ging auf mehr als —46° C herab. Die beobachtete Pflanze wuchs auf dem Gipfel eines Sandhügels, dem beständigen scharfen N. ausgesetzt.

Sie hatte im Sommer 1878 ihre Blütezeit erst begonnen, als sie vom Winter betroffen und seiner ganzen Strenge ausgesetzt wurde. Merkwürdigerweise wurde sie aber nicht vernichtet. Als der Sommer 1879 kam, setzte die Pflanze ihre Ausbildung von da an fort, wo sie zu Anfang des Winters unterbrochen worden war: die Blütenknospen schlugen aus und aus den Blattachseln der oberen frischen Stengelblätter schossen neue frische Blütenstände hervor.

Es ist zu bemerken, daß die fragliche Pflanze weder morphologisch noch anatomisch irgendwelche Schutzmittel gegen so abnorm niedere Temperaturen aufweist. Es muß also in der inneren Veranlagung der Pflanze liegen, solche Kältegrade ertragen zu können, ohne Schaden zu nehmen. Unter ähnlichen Verhältnissen würden wohl nur wenige Gewächse Mitteleuropas einen Winter zu überdauern vermögen, und doch sind diese, rein äußerlich betrachtet, nicht schlechter ausgestattet als die so fabelhaft resistenzfähige Cochlearia.

Auch für die Fähigkeit ganzer Pflanzen, ungewöhnliche Trockenheit zu ertragen, gibt es zahlreiche Beispiele. Die Auferstehungspflanze (*Selaginella lepidophylla*[134]) Mexikos vermag völlig lufttrocken zu werden; sie scheint dann tot zu sein und kann in diesem Zustand zwischen den Fingern zu einer staubigen Masse zermalmt werden; doch bei Zutritt von Wasser beginnt ihre Lebenstätigkeit neuerdings. Die Zahl der Arten, die so weit austrocknen können ohne bleibenden Schaden zu nehmen, ist natürlich sehr klein. Auch hier sind offenbar nicht äußere, sondern innere, wahrscheinlich chemische Fähigkeiten ausschlaggebend.

In einer soeben erschienenen, an neuen Gesichtspunkten ungewöhnlich reichen Arbeit bringt *H. Fitting*[135]) nicht nur den Nachweis, daß die ausdauernden Pflanzen extrem trockener Wüstenstandorte durchschnittlich äußerst hohe, ja zum Teil ganz fabelhafte (bis über 1000 Atmosphären) osmotische Saugkräfte entwickeln, sondern daß viele von ihnen auch eine für höhere Pflanzen ungewöhnlich weitgehende Regulationsfähigkeit ihrer Druckkräfte je nach der Trockenheit ihrer Standorte besitzen. So haben die Wüstenpflanzen die Fähigkeit, auch noch aus sehr trockenen Böden Feuchtigkeit herauszureißen, und zwar bald mit Kochsalzspeicherung, bald ohne solche. Die niedrigsten Druckwerte ergeben vorwiegend die Annuellen, die höchsten die Sträucher, ganz besonders Pflanzen von sehr exponierten, wasserarmen Standorten, namentlich wenn sie auch die trockene und heiße Jahreszeit mit ihren Transpirationsflächen überdauern. Dagegen sind auf feuchtem Kulturboden die osmotischen Drucke ganz allgemein wesentlich niedriger als in der trockenen Wüste, und zwar auch bei solchen Arten, die beide Standorte besiedeln. Von ganz besonderem Interesse ist ein Vergleich der Drucke, welche typische Wüstenpflanzen auf trockenem und auf feuchtem Boden entwickeln. Da erweist sich das ungemein große Regulationsvermögen des Druckes bei diesen Gewächsen als eine charakteristische und sehr zweckmäßige Eigenschaft. Diese Befähigung ist bei den Perennen weit vollkommener ausgebildet als bei den meisten

Annuellen; bei salzspeichernden Formen vollkommerer als bei den übrigen. Diese Eigenschaften bedeuten eine ganz außerordentlich zweckmäßige Anpassung der Wüstenpflanzen, um deren Wasserbedarf selbst noch aus sehr trockenen Böden zu decken.

Und noch ein Beispiel. Wir haben einige Fälle kennen gelernt, wo durch die Konkurrenz lebenskräftigerer Gewächse andere Arten in ihrer Ausbreitung gehemmt bzw. zurückgedrängt worden sind. Es sei an das über *Pinus Cembra L.* und *Pinus montana Miller* Gesagte erinnert; als die Hauptursache dieser Erscheinung haben wir das langsame Wachstum dieser Arten erkannt. Aber wer erklärt uns die Tatsache, daß unter denselben klimatischen und edaphischen Verhältnissen die eine Holzart ein um das Mehrfache rascheres Wachstum besitzt als ein anderer neben ihr stehender Baum? Es kann dies auch nur in der Art selbst seine Ursache haben, deren tiefere Erfassung ist uns aber zur Zeit noch nicht zugänglich.

Diese Verhältnisse sind zwar allgemein bekannt, doch ist es auffallend, daß ihre Bedeutung für die Pflanzengeographie in den phytogeographischen Werken öfters ganz übergangen oder doch nur gelegentlich erwähnt wird, in der deutschen pflanzengeographischen Literatur hauptsächlich seit etwa 15 Jahren, durch *F. W. Schimper*, *L. Diels*, *P. Graebner*. Man unterscheidet „plastische und nicht plastische Arten", zu den letzteren gehören diejenigen Pflanzen, die schon bei geringen Schwankungen im Feuchtigkeits- und Wärmezustand, bei einer kleinen Änderung der Boden- und Konkurrenzverhältnisse eingehen, oder man spricht von „konstitutioneller Frosthärte" und *Schimper*[136]) sagt: Die Fähigkeit, große Kälte zu ertragen, ist eine spezifische Eigenschaft des Protoplasmas gewisser Pflanzen und in keiner Weise durch äußere, d. h. außerhalb der Plasmamicellen gelegene Schutzmittel unterstützt. Auch *Graebner*[137]) schreibt: Weshalb und unter welchen Umständen die Pflanzen tiefere bis sehr tiefe Temperaturen ertragen oder warum nicht, ist ein außerordentlich interessantes, aber auch schwieriges, noch lange nicht in allen Punkten geklärtes Kapitel. Eine bestimmte Rolle kommt sicher der Beschaffenheit des Zellsaftes zu. — Und *L. Diels* sagt: Die spezifische Konstitution der Elemente darf nicht aus der Pflanzengeographie ausgeschaltet werden; sie muß als gleichberechtigter Faktor in die Rechnung eingesetzt werden, welche das Verständnis der Vegetation erschließen will. Erst wenn wir einen tieferen Einblick in die molekulare Struktur und in die Dynamik des Protoplasmas erlangt haben, werden diese den Pflanzengeographen so sehr beschäftigenden Probleme ihrer Lösung um einen guten Schritt näher gebracht worden sein. Die bereits erörterte Arbeit von *H. Fitting* bedeutet in dieser Hinsicht einen beachtenswerten Fortschritt.

Neben diesen offenen Fragen gibt es jedoch noch eine zweite Gruppe von Erscheinungen, wo die Verhältnisse des Wohngebietes schon äußerlich in der Pflanzengestalt zum Ausdruck kommen. An anderer Stelle haben wir bereits gesehen, wie sehr oft Feuchtigkeitsverhältnisse in der Pflanzenstruktur ihr getreues Abbild finden.

Neuerdings hat der geniale dänische Biologe *C. Raunkiaer* [138]) auf einen anderen Zusammenhang hingewiesen. Raunkiaer vertritt die Ansicht, daß beim Vergleich zweier Florenbezirke die klimatischen Verhältnisse der für die Vegetation ungünstigen Jahreszeiten sich viel mehr voneinander unterscheiden als die günstigen Jahreszeiten. So zeigt z. B. der Sommer Mitteleuropas und derjenige der Mediterranis im Verhalten des Klimas zur Vegetation eine größere Übereinstimmung als der deutsche und italienische Winter. Im Süden ist derselbe durch bedeutende Regenfälle und nicht sehr große Kälte charakterisiert, im Norden durch Schnee und Frost, der mit Ausnahme der Coniferen alle grünen Pflanzen abtöten würde, wenn sie sich nicht gegen Kälte in irgend einer Form schützten. So werden die Einflüsse der schlechten Jahreszeit eine ganze Reihe leicht festzustellender Anpassungen bewirken. Von diesem Gedanken ausgehend, hat Raunkiaer (1905 und 1908) fünf Hauptlebensformen aufgestellt, die wieder in eine größere Zahl von Untertypen zerfallen, so daß im ganzen 30 Fälle unterschieden werden. Diese biologischen Typen werden auf Grund des Grades und der Art der Anpassung der Knospen oder der jüngsten Enden der Sprosse an die Überstehung der ungünstigsten Jahreszeit charakterisiert. Wir können hier nur kurz auf die Hauptlebensformen eingehen und verweisen im übrigen auf die reich illustrierten Originalarbeiten, in denen jeder einzelne Typus an bezeichnenden Beispielen erörtert wird.

1. Die höchst entwickelten Lebensformen sind die *Phanerophyten* [139]), Pflanzen mit aufrechten, mehr oder weniger hohen Sprossen, an denen die Erneuerungsknospen frei oder unter dem Schutz von Knospenschuppen die ungünstige Lebenszeit überdauern. Der Knospenschutz ist mithin sehr gering. Einzelne Untertypen besitzen die Fähigkeiten, bei eintretender Ruheperiode die Blätter abzuwerfen oder sonstwie ihren Umfang zu vermindern. Dieser Typus zeigt die größte Mannigfaltigkeit. Raunkiaer unterscheidet 15 Untertypen.

2. Die Chamaephyten tragen ihre Erneuerungsknospen an wenig über die Erdoberfläche hervorragenden Sprossen, dieselben werden dann leicht in der ungünstigen Jahreszeit vom Schnee oder abgefallenem Laub geschützt. Infolge der geringen Erhebung über dem Boden sind die nachteiligen Windwirkungen abgeschwächt. Nach den Wuchsformen werden vier Untertypen aufgestellt; hierher gehören z. B. auch die Polsterpflanzen.

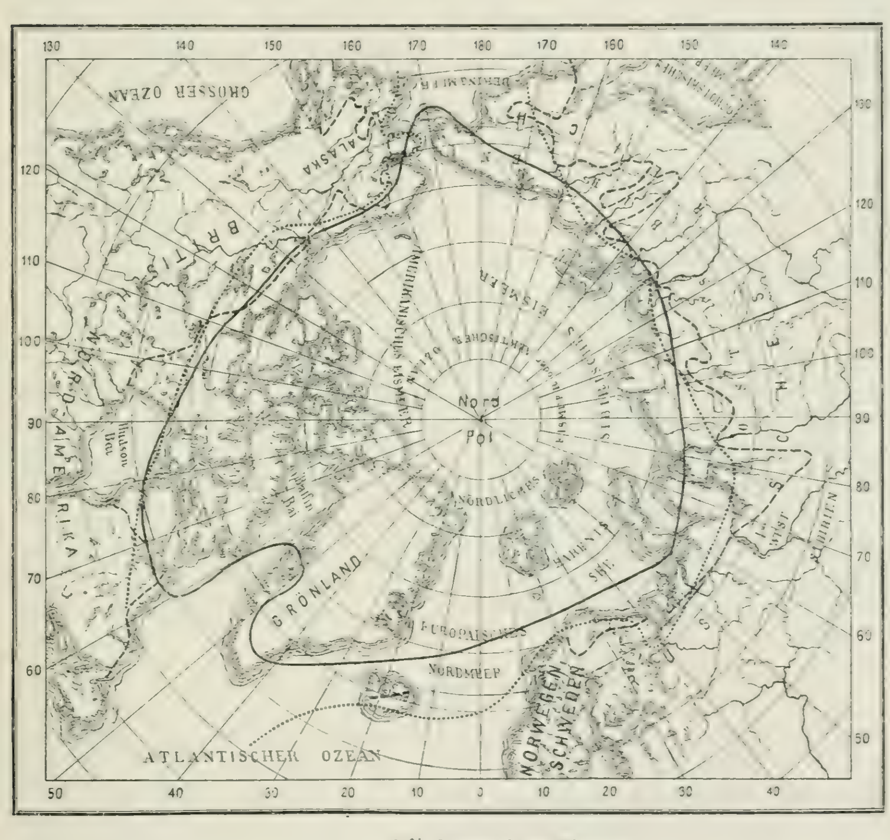
3. Die Hemikryptophyten mit drei Untertypen, zu denen die Rosettenpflanzen zu zählen sind, erzeugen ihre Erneuerungsknospen unmittelbar an der Erde, in gleicher Höhe mit der Erdoberfläche. Der ganze übrige oberirdische Teil der Pflanze stirbt mit Eintritt der ungünstigen Jahreszeit ab.

4. Die Kryptophyten. Die Knospen sind in der Erde oder am Grunde eines Gewässers geborgen. Alle oberirdischen Teile gehen zu Beginn der Vegetationsruhe ein. Diese Lebensform umfaßt sieben Untertypen.

5. Die Therophyten endlich besitzen überhaupt keine Erneuerungsknospen; sie sterben nach einer kurzen, oft nur wenige Wochen oder sogar nur Tage andauernden Vegetationsperiode völlig ab und erneuern sich einzig durch ihre resistenten Samen.

Diese Typen sind nun zwar keine idealen Lebensformen, welche die Summe aller Anpassungserscheinungen umfassen. Dies ist ein Desideratum,

Fig. 136.



20 % Chamaephyten-Biochore
Baumgrenze
Juli-Isotherme von 10° C.

von dem wir noch weit entfernt sind. Für seine biologischen Typen hat *Raunkiaer* eine Gruppe von Merkmalen gewählt, die nicht nur für das Leben der Pflanze in den verschiedenen Klimaten von wesentlicher Bedeutung ist, sondern die auch die Aufstellung einer einheitlichen, fortlaufenden Reihe erlaubt, einer Reihe, die einer vergleichend-statistischen Behandlung zugänglich ist.

„Wenn wir einen auf die Lebensformen gegründeten Ausdruck für das Pflanzenklima einer Gegend, für den Lebenswert eines Klimas zu bilden suchen, dürfen wir infolge der Einseitigkeit unserer Lebensformen uns nicht damit begnügen, die Lebensformen nur für einige Arten zu bestimmen, sondern wir müssen alle untersuchen und feststellen, wie sie sich prozentweise auf die einzelnen Lebensformen verteilen. Dadurch bekommen wir eine Zahlenreihe, ein biologisches Spektrum als Ausdruck für das Klima, soweit das mit der Hilfe der angewendeten Lebensformen erreicht werden kann. Wieweit dieses biologische Spektrum ein richtiger Ausdruck für ein Pflanzenklima ist, ergibt sich daraus, inwieweit dasselbe Klima, aber in verschiedenen Erdstrichen und trotz einer in floristisch-systematischer Hinsicht ganz andersartigen Flora dasselbe Spektrum ergibt, während verschiedene Klimaten verschiedene Spektren aufweisen." [140]) Soweit *Raunkiaer*. Die Richtigkeit seiner Annahme hat er in einer seiner letzten Arbeiten durch Untersuchung einer Anzahl von Lokalfloren verschiedener Zonen darzulegen versucht. So kam er zur Aufstellung von vier pflanzengeographischen Klimareihen: *a)* das Phanerophytenklima umfaßt die tropischen Gebiete mit nicht zu geringen Niederschlägen; *b)* das Therophytenklima das Winterregengebiet der subtropischen Zone; *c)* das Hemikryptophytenklima den größten Teil der kalten, gemäßigten Zone; *d)* das Chamaephytenklima die kalte Zone. Diese Hauptpflanzenklimate und ihre Unterabteilungen lassen sich durch biologische Grenzlinien, Biochoren, voneinander trennen, die auf exakten Zahlen aufgebaut sind, ganz analog den klimatischen Grenzlinien, z. B. den Isothermen. Auf diese Weise kann man eine biologische Pflanzengeographie auf Grund der Statistik der Lebensformen aufbauen. Unsere Karte (Fig. 136) bringt eine kombinierte Darstellung des Verlaufes der arktischen Baumgrenze, der 10° C Juli-Isotherme (nach *G. Andersson*) und der *Raunkiaer*schen 20% Chamaephyten-Biochore.

8. Das Wohngebiet.

Jedes Florenreich, ja jeder Florenbezirk unterscheidet sich von den Nachbargebieten nicht nur durch einen ganz bestimmten Kombinationskomplex der exogenen pflanzengeographischen Faktoren, auch die Orographie und Topographie des Geländes hat sehr oft einen recht bedeutenden Einfluß auf die Vegetation eines Landes, wir denken in erster Linie an die Massenwirkungen der Kontinente und Hochländer, an die Wanderungsbahnen oder -Hindernisse, welche durch Gebirge, Flüsse, Ozeane, Wüsten geschaffen werden, an die Folgen der Isolierung einer Flora auf ozeanische Inseln oder auf einzelne Gebirgsstöcke.

So haben jedes Land oder Inselgruppe, viele Gebirgszüge und Talschaften ihre Besonderheiten, welche eine monographische Bearbeitung durchaus rechtfertigen. Ebenso aussichtsvoll sind eingehende Studien über bestimmte Formationen, die in ihren Bildungsbedingungen und ihrem wechselnden Bestand über größere Länderstrecken verfolgt oder spezielle Ar-

beiten über einzelne Familien, Gattungen und Arten, wobei jeweilen auch die pflanzengeographischen Verhältnisse eingehend erörtert werden. Solche Einzelmonographien bilden die unerläßliche Grundlage für die allgemein leitenden Gesichtspunkte der Pflanzengeographie.

In dieser Hinsicht sind in den beiden letzten Jahrzehnten eine große Anzahl wichtiger und zum Teil auf sehr breiter Basis aufgebauter Publikationen erschienen. Von *A. Engler* (Berlin) und *O. Drude* wird seit 1896 unter dem Titel „Vegetation der Erde" ein Sammelwerk pflanzengeographischer, illustrierter und zum Teil mit kartographischen Beilagen versehener Monographien herausgegeben. Das Werk umfaßt bereits 12 Bände. *M. Willkomm* bearbeitete die Vegetation der iberischen Halbinsel (1896), *F. Pax* die *Karpathen* in 2 Bänden (1898, 1908), *G. Radde* die Kaukasusländer (1899), *Beck v. Managetta* die Vegetationsverhältnisse der illyrischen Länder (1901), *O. Drude* den hercynischen Florenbezirk (1902), *L. Diels* Westaustralien (1906), *K. Reiche* Chile (1907) und *A. Engler* die Pflanzenwelt Afrikas, insbesonders seine tropischen Gebiete, 3 Bde. (1908 und 1910) und soeben gelangte zur Ausgabe *Weberbauers* Vegetation der peruanischen Anden und *John W. Harshberger,* Phytogeographic Survey of North America (1911).

In der Schweiz, besonders im Alpengebiet, ist man eifrig an der Arbeit gewesen, seit dem Erscheinen von *H. Christs* Pflanzenleben der Schweiz (1882), einem Werk, das durch die vollständige Beherrschung des Stoffes, durch seine übersichtliche Darstellung und durch seine packende Sprache als ein Meisterwerk bezeichnet werden darf, das in der pflanzengeographischen Literatur immer einen ersten Platz einnehmen wird. Im Jahre 1907 hat Christ [141]), unter Berücksichtigung der neuesten Literatur und Strömungen, einen sehr beachtenswerten Nachtrag veröffentlicht. Die Moore haben durch *J. Früh* und *C. Schröter* [142]) eine mustergültige Darstellung und „Das Pflanzenleben der Alpen" durch *C. Schröter* als den berufensten Kenner der Alpenflora eine nahezu erschöpfende Behandlung gefunden. Während dieses Werk sich vorwiegend an die schweizerischen Alpen hält, hat *A. Engler* (Berlin) bereits 1901 eine kurze zusammenfassende Übersicht der Pflanzenformationen und der pflanzengeographischen Gliederung der ganzen Alpenkette [143]) verfaßt. Ein vollständiges Bild unserer gegenwärtigen Kenntnis der Geschichte und Herkunft der schweizerischen Alpenflora [144]), in der besonders die verschiedenen Florenbestandteile klarer als bisher auseinandergehalten worden sind, ist von *Marie Jerosch* gegeben worden.

Über das Bodenseegebiet [145]) besitzen wir eine eingehende Studie, in der auch nicht der kleinste pflanzliche Organismus unberücksichtigt geblieben ist, und die uns einen vorzüglichen Einblick in die gesamte makro- und mikroskopische Ökologie eines größeren Sees verschafft. *G. Hegi* [146]) hat das obere Tößtal floristisch und pflanzengeographisch dargestellt. Ganz besonders war es aber die *Schröter*sche Schule, welche sich seit einem Vierteljahrhundert um die systematische Durchforschung der Schweiz sehr ver-

dient gemacht hat. Aus ihr sind einerseits eine größere Anzahl floristisch-pflanzengeographischer Abhandlungen hervorgegangen, die einzelne Talschaften, Gebirgsstöcke oder Seengebiete betreffen, in letzterem Fall ist wiederholt auch das Plankton eingehend behandelt worden. Hierher z. B. Arbeiten von *C. Schröter*, *E. Geiger, A. Grisch, St. Brunies, H. Brockmann, Ed. Rübel* [147]) über verschiedene Teile Graubündens, diejenigen von *Baumgartner* und *M. Düggeli* [148]) aus dem Voralpengebiet und die Seenstudien von *W. Bally, O. Amberg, T. Waldvogel, O. Guyer* [149]) usw.; andrerseits betreffen sie biologische Themata, wie die Verbreitungsmittel schweizerischer Alpenpflanzen [150]), die Ökologie der Felsflora [151]), die Wuchsformen der alpinen Geröllpflanzen [153]) oder endlich wird die Flora der Vorzeit, insbesondere diejenige der Postglazialzeit und der prähistorischen Fundstellen behandelt (*C. Schröter, E. Neuweiler, H. Brockmann* [153]). Auch die Ruderalflora ist nicht vernachlässigt worden (*M. Rikli, O. Nägeli* und besonders *Thellung* [154]).

Für die praktischen Zwecke der Alpwirtschaft und als grundlegende Arbeiten der Formationslehre haben auch im Ausland *Stebler* und *Schröter*: Die besten Futterpflanzen und Beiträge zur Kenntnis der Matten und Weiden vielfache Beachtung gefunden. *P. Jaccard* [155]) hat in einer ganzen Reihe von Schriften durch Aufsuchen des sogenannten Gemeinschaftskoeffizienten vergleichend-statistische Untersuchungen gleicher und verschiedener Formationen aus denselben oder aus entfernten Gebieten durchgeführt und ist zu recht interessanten allgemeinen Gesichstpunkten gekommen.

Im Auftrag des Departements des Innern und unter Leitung des eidgenössischen Oberforstinspektors Dr. *J. Coaz* [156]) wurden Erhebungen über die Verbreitung der wildwachsenden Holzarten in der Schweiz gemacht. Einen vorzüglichen Einblick in die Waldverhältnisse der Schweiz gewähren auch die Abhandlungen und Mitteilungen in der „Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen. [157]) An dieser Stelle darf vielleicht auch noch an *Ed. Imhofs* „Die Waldgrenze in der Schweiz“ [158]) und an „Die natürlichen Wälder der Schweiz“ von *H.* und *M. Brockmann-Jerosch* [159]) erinnert werden. Von der Monographie der Arve ist schon an anderer Stelle gesprochen worden.

Nicht weniger tätig war man in der Westschweiz. *S. Aubert*, *A. Binz*, *J. Briquet*, *G. Beauverd*, *R. Chodat*, *H. Jaccard*, *E. Wilczek* und *F. O. Wolf* [160]) haben teils Teile aus dem Kt. Wallis, aus den Voralpen und dem Jura der Waadt oder aus den angrenzenden Gebieten von Savoyen ihren Studien zugrunde gelegt, teils Fragen von allgemein pflanzengeographischer Bedeutung [161]) behandelt. Selbst der Kt. Tessin hat nicht nur einen neuen, sorgfältig durchgearbeiteten Florenkatalog erhalten: über zahlreiche Gebiete desselben liegen nun auch Exkursionsberichte und abgerundete Vegetationsbilder vor. In dieser Hinsicht hat die im September 1903 in Locarno getagte Jahresversammlung der schweiz. naturf. Gesellschaft fruchtbringend gewirkt. [162]) Erwähnen wir endlich noch die vollständige Neubearbeitung der „Flora der Schweiz“ durch *H. Schinz* und *R. Keller*, 1909 in dritter wesentlich bereicherter Auflage erschienen, so vermag diese, noch recht

unvollständige Übersicht doch einigermaßen ein Bild zu geben von der derzeitigen intensiven botanischen Durchforschung eines kleinen, aber in seiner Mannigfaltigkeit doch sehr interessanten Erdenfleckes.

Es kann natürlich nicht meine Aufgabe sein, in derselben Weise nun alle Länder zu durchgehen, wir müssen uns mit einigen wenigen Andeutungen begnügen. Immerhin wäre es sehr wünschenswert, wenn die von *A. Engler* (Berlin) in der Humboldt-Zentenarschrift gegebene „Übersicht über die wichtigste floristische Literatur, in welcher Angaben über pflanzengeographische Gliederung und Formationen enthalten sind"[163]), die bis 1898 geht, bis auf unsere Tage fortgeführt würde. *Ch. Flahaults* gediegene Übersicht über die Fortschritte der Pflanzengeographie seit 1884[164]) entspricht insofern nicht ganz diesem Desideratum, indem in derselben das Hauptgewicht auf den derzeitigen Stand der pflanzengeographischen Probleme und nicht auf die systematisch durchgeführte Erörterung der neuesten Literatur gelegt wird. Bei der gewaltigen Breite, zu der sich die pflanzengeographische Forschungsarbeit entwickelt hat und bei der Zersplitterung der einschlägigen Literatur würde eine solche bibliographische Arbeit mit kurzen orientierenden Bemerkungen einem viel empfundenen Bedürfnis entgegenkommen.

Ein gewaltiges Werk „Das Pflanzenreich"[165]), allerdings vorwiegend systematischer Natur, wird seit 1900 unter Mitwirkung eines ganzen Gelehrtenstabes von *A. Engler* (Berlin), im Auftrag der kgl. preußischen Akademie der Wissenschaften herausgegeben. Bereits sind 50 Hefte, bzw. Bände zur Ausgabe gelangt. Da in diesem Sammelwerk sämtliche Arten mit Angabe ihrer Verbreitung beschrieben und bei jeder Gruppe auch die Gesamtverbreitung, ihre verwandtschaftlichen Beziehungen erörtert und die fossilen Funde erwähnt werden und zu dem öfters auch noch Verbreitungskärtchen beigegeben sind, so wird das groß angelegte Sammelwerk auch dem Pflanzengeographen wichtige Dienste leisten. Die mit unglaublichem Fleiß und enzyklopädistischer Gelehrsamkeit, *G. Schweinfurth* gewidmete „Synopsis der mitteleuropäischen Flora"[166]) von *P. Ascherson* und *P. Graebner* ist ein unerläßliches Nachschlagewerk, reich an phytogeographischen Notizen. Ende 1910 lagen sechs abgeschlossene Bände vor. Auch die „Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mitteleuropas" von *O. v. Kirchner*, *E. Löw (†)* und *C. Schröter*[167]) muß an dieser Stelle wenigstens erwähnt werden, denn neben der Entwicklungsgeschichte und speziellen Ökologie jeder Art, illustriert durch zahlreiche zum größeren Teil Originalzeichnungen, ist auch die Verbreitung, Vergesellschaftung, Herkunft unter eingehender Berücksichtigung der Literatur erörtert.

In sehr zielbewußter Weise wird von *J. Eichler*, *R. Gradmann* und *W. Meigen*[168]) die pflanzengeographische Durchforschung von Württemberg, Baden und Hohenzollern nach Florenbestandteilen durchgeführt. Bisher sind die alpine, die hochnordisch-subalpine, die präalpine und montane Gruppe behandelt und die Verbreitung pflanzengeographisch wichtiger Arten auf Karten dargestellt worden. *R. Gradmann* hat in zwei sehr anziehend ge-

schriebenen, ungewöhnlich reichhaltigen Bändchen, die innerhalb dreier Monate schon eine zweite Ausgabe erlebt haben: „Das Pflanzenleben der schwäbischen Alb“ [169]) beschrieben und „Die norddeutsche Heide“ hat in *P. Gräbner* [170]) ihren Monographen gefunden.

In Österreich-Ungarn ist man sehr lebhaft an der Arbeit. Die Wiener Schule hat Hervorragendes geleistet, besonders durch eine Reihe sehr eingehender, kritischer Monographien einzelner Gruppen und Gattungen [171]), wobei hauptsächlich den lokalen Rassenbildungen und dem Saisondimorphismus nachgegangen wurde. Die botanische Durchforschung des Landes schreitet in ähnlicher Weise vor sich wie in Deutschland und in der Schweiz. Der 1905 in Wien versammelte II. internationale botanische Kongreß hat in dieser Hinsicht auch noch mächtig anregend gewirkt. Der „Führer zu den wissenschaftlichen Exkursionen [172]) mit seinen 52 Lichtdrucktafeln und sechs pflanzengeographischen Abhandlungen legt ein beredtes Zeugnis für die Tatkraft der botanischen Fachkollegen der Doppelmonarchie ab. Ein Muster einer Flora ist diejenige von *G. Beck von Mannagetta* von Niederösterreich (1892) mit seiner kurzen und klaren Einleitung. Der Wunsch, daß dieses Beispiel für weitere Florenwerke vorbildlich wirken möge, darf vielleicht auch hier ausgesprochen worden.

Auch Rußland und die skandinavischen Länder marschieren in erster Linie. Leider ist uns Westeuropäern die Literatur dieser Länder der sprachlichen Schwierigkeiten wegen schwer zugänglich. Wir sind daher den Fachkollegen zu besonderem Dank verpflichtet, daß sie am Schluß ihrer Arbeiten sehr oft deren Hauptergebnisse in einer der drei wichtigsten Kultursprachen zusammengefaßt haben. In *Justs* botanischen Jahresberichten findet man übrigens von den größeren Publikationen dieser Gebiete sehr eingehende, zum Teil fast auszugsweise Referate. Rußland hat besonders in den Acta Horti Petropolitani [173]) ein sehr vornehm gehaltenes, für die botanische Erforschung des Weltreiches äußerst wichtiges Publikationsorgan; neuerdings ist für kleinere Veröffentlichungen das Bulletin du jardin impérial de St. Pétersbourg [174]) geschaffen worden. Über eine ganze Reihe von Gouvernementen liegen *) monographische Bearbeitungen vor, sehr eingehend sind besonders auch die Kaukasusländer, die Krim, der Ural, die südrussischen und zentralasiatischen Steppenwüstengebiete durchforscht. Seit einer Reihe von Jahren bilden auch der Altai und die zentralasiatischen Hochländer ein wichtiges Arbeitsfeld, das dazu berufen ist, auch auf die postglaziale pflanzliche Besiedelungsgeschichte Mitteleuropas neues Licht zu verbreiten. Erwähnen wir endlich noch die vorzügliche pflanzengeographische Studie über die Halbinsel Kanin und das angrenzende Waldgebiet von *R. Pohle.* [175])

In Skandinavien hat man sich in den letzten drei Jahrzehnten in erster Linie um die Erforschung der Florengeschichte der nördlichen Halbinsel bemüht und auf Grund der Untersuchung zahlreicher

*) Z. B. *A. Fleroff,* Flora des Gouvernements Wladimir. Schriften d. Naturf.-Gesellsch. Jurjeff, X (1902).

subfossiler Lagerstätten die nacheiszeitliche Einwanderung der Flora studiert. Diesen Bemühungen ist es zu verdanken, daß wir heute auf Grund der Arbeiten von *Nathorst, Blytt, Gunnar Andersson* u. a. in der Lage sind, uns ein vollständiges Bild dieses florengeschichtlich so wichtigen Vorganges sowie auch des nacheiszeitlichen Klimas von Skandinavien zu machen. Immer noch unübertroffen sind *O. Kihlmans* Pflanzenbiologische Studien aus Russisch-Lappland[176]), eine wahre Fundgrube für alle Fragen, die sich auf das Problem der polaren Waldgrenze beziehen. Von den zahlreichen neuen Bearbeitungen erwähnen wir nur noch die mit 22 prachtvollen Tafeln und Karten ausgestattete Monographie der Pflanzenwelt von Kiruna in Tornea Lappmark bei 67° 50′ N. von *H. G. Simmons*[177]), dem verdienten Botaniker der zweiten norwegischen Polarexpedition 1898—1902. Wir erinnern ferner an die zahlreichen wichtigen Publikationen von *H. Hesselmann,* von denen ganz besonders hervorzuheben sind die Arbeit „Über die Vegetation und den Wald der Kalkfelsen Gotlands“ [178]) (1908) und die Abhandlung „Zur Kenntnis des Pflanzenlebens schwedischer Laubwiesen“ [179]) (1904), bedeutungsvoll sowohl nach ihrer physiologisch-biologischen, wie nach ihrer pflanzengeographischen Seite. Auch das Flugsandgebiet von Röros im inneren Norwegen ist wiederholt Gegenstand pflanzenbiologischer Beobachtungen gewesen *(Th. Resvoll).* Mit der immer noch viel zu sehr vernachlässigten Keimungsgeschichte der Blütenpflanzen hat sich endlich *Nils Sylven* in eingehender Weise abgegeben und seine Ergebnisse in der Kungl. Svenska vetenskapsakademiens Handlingar niedergelegt.[180])

In Dänemark ist unter der Leitung von *E. Warming*, dem hervorragenden Mitbegründer der phytogeographischen Biologie, eine Schule entstanden, die Weltruf genießt und in ganz systematischer Weise an der botanischen Durchforschung des Landes und seiner Kolonien arbeitet. Ein sehr schönes Denkmal gemeinsamer Arbeit der dänischen Forscher ist die umfangreiche und völlig erschöpfende Monographie der Färöer[181]), eine Publikation, wie sie in ähnlicher Vollständigkeit von der einfachsten Alge bis zu der letzten Blütenpflanze wohl kaum eine zweite Inselgruppe von ähnlich beschränktem Umfang besitzt. Auch für die Erforschung Grönlands ist in den Meddelelser om Grönland[182]) ein Zentralorgan geschaffen worden, daß nicht nur eine ungewöhnlich große Zahl von Abhandlungen aus sämtlichen naturhistorischen Disziplinen umfaßt, sondern auch eine Fülle geographisch-ethnographischer Arbeiten enthält.

Im benachbarten Frankreich hat hauptsächlich *Ch. Flahault* auf pflanzengeographischem und biologischem Gebiet Pionierarbeit geleistet und zuerst (1886) die Grenzen und Formationen des zur Mediterranis gehörigen südlichen Frankreichs festgestellt. Die Umgebung von Montpellier, die Camargue mit den Alluvionen der Rhone, die östlichen Pyrenäen sind von ihm schon vor 20 Jahren und mehr bearbeitet worden. Bereits 1894 hat Flahault eine carte botanique forestière et agricole de la France angeregt.

Auch Großbritannien und Nordamerika sind nicht zurückgeblieben. Die Engländer sind Meister eingehender, sorgfältiger Formationsstudien.

und in der Union wird mit zäher Energie das weite Land durchforscht und die Ergebnisse dieser Tätigkeit in umfangreichen, zum Teil prachtvoll ausgestatteten Werken niedergelegt. Die atlantischen Staaten, unter denen neuerdings (1910) Maryland[183]) eine botanisch-monographische Bearbeitung erfahren hat, stehen in erster Linie, es folgen alsdann Kalifornien und das Felsengebirge und die angrenzenden Prärien.[184]) Diese in unzähligen Zeitschriften und Separatpublikationen zerstreute Literatur ist soeben durch *Harshberger* einheitlich verarbeitet worden. Eine den größten Teil des nordamerikanischen Kontinentes umfassende Flora ist dagegen schon seit einer vollen Dekade abgeschlossen.[185])

Noch vor kaum einem Menschenalter war es gar nicht leicht, sich brauchbare Vegetationsbilder zu verschaffen, nicht nur von fremden Erdteilen, sondern selbst aus vielen Gebieten Europas. Heute ist das nun freilich anders geworden. Nicht nur bringt beinahe jede größere Monographie eine mehr oder weniger stattliche Zahl von Tafeln in Lichtdruck oder Autotypie, die von Fachmännern ausgewählt oft in vorzüglicher Weise Einblicke in die Vegetationsverhältnisse der behandelten Florenbezirke gestatten, sondern es sind in den letzten Jahren auch eine ganze Reihe von Tafelwerken entstanden, die hauptsächlich dem pflanzengeographischen Unterricht an Hochschulen dienen wollen und die ihr Hauptgewicht auf naturgetreue Wiedergabe typischer Vegetationsbilder legen, indessen der Text sich auf eine kurze Einführung in das betreffende Vegetationsgebiet und Angabe der wichtigsten literarischen Quellen beschränkt. In dieser Hinsicht vorbildlich sind die von *G. Karsten* und *H. Schenck* seit 1903 im Format 16 × 22 *cm* herausgegebenen „Vegetationsbilder“. Die bis Ende 1910 erschienenen acht Reihen enthalten gegen 500 Tafeln, welche nicht nur Landschafts- und Vegetationsszenerien, sondern auch einzelne Baumtypen und Bilder von Kulturen und Kulturpflanzen umfassen. Sie erstrecken sich beinahe über alle Länder der Erde und sind von Fachgelehrten, die jene Gegenden bereist haben, bearbeitet. Einen ganz anderen Zweck verfolgen die „Natururkunden“ von *E. F. Schulz.*[186]) Es sind vorzüglich reproduzierte photographische Aufnahmen freilebender Tiere und Pflanzen mit begleitendem, biologisch-erläuterndem Text, gewissermaßen Urkundenschriften, die in ihrem intimen Reiz immer neu studiert werden müssen und die einerseits zur sinnigen Naturbetrachtung, andrerseits zu deren Schutz beitragen wollen.

Einen Einblick in die Pflanzenwelt des Unterlaufes des Amazonenstromes an Hand seiner wichtigsten Bäume und üppigen Landschaftstypen gibt *J. Huber* von Para im „Arboretum amazonicum“.[187]) Die Beschreibung der Vegetation Südbrasiliens hat *R. v. Wettstein* mit 58 Tafeln begleitet. *H. Schenck* verdanken wir eine Serie hervorragender Landschaftsbilder der antarktischen Länder (1905) und *Fedtschenko* publiziert seit einigen Jahren Vegetationsbilder von Rußland.[188]) Deutsch-Ostafrika ist durch eine Sammlung von 64 Landschaftstypen von *W. Goetze* (1902) vertreten, den begleitenden Text hat *A. Engler* (Berlin) verfaßt.

Selbst Japan besitzt bereits ein groß angelegtes, von *Mijoshi*[189]) herausgegebenes botanisches Bilderwerk.

Von ungleich größerer Bedeutung sowohl als Hilfsmittel der Forschung, als auch für Unterrichtszwecke ist die botanische Kartographie. Sie erlaubt nicht nur die denkbar klarste Wiedergabe phytogeographischer Verbreitungstatsachen; mit genügender Sorgfalt durchgeführte kartographische Aufnahmen können durch Vergleichung der Areale Aufschluß über pflanzengeschichtliche Beziehungen zwischen einzelnen Florenbezirken und über mögliche Wanderungsbahnen geben, oder sie erlauben, den Zusammenhang zwischen der Pflanzenwelt und den klimatischen bzw. edaphischen Lebensbedingungen der von ihr bewohnten Erdräume zum Ausdruck zu bringen. Im Gedanken an die mehr und mehr der Kultur anheimfallenden, jetzt aber vom Menschen noch ganz oder nahezu unberührten Länderstriche haben pflanzengeographische Karten noch eine besondere Bedeutung, nämlich die einer Inventaraufnahme des ursprünglichen Naturzustandes und der damit gegebenen Verbreitungstatsachen.

Es ist daher wohl verständlich, daß unsere junge Wissenschaft verhältnismäßig frühzeitig die Kartographie in ihren Dienst nahm. In den drei letzten Jahrzehnten geschah dies in einer immer ausgiebigeren und zielbewußteren Weise. Doch sind wir immer noch weit von einer einheitlichen, international anerkannten botanischen Kartographie entfernt. Fast jeder einzelne Forscher hat seine eigene Darstellungsweise, die er seinen speziellen Bedürfnissen angepaßt hat. Der Nachteil einer so weitgehenden Individualisierung liegt auf der Hand; die Karten sind nicht mehr direkt vergleichbar, jede einzelne muß nach der Bedeutung der verwendeten Farben, Farbenkombinationen, Zahlen, Buchstaben, symbolischen Zeichen usw. studiert werden, und gar oft kommt es vor, daß ein und dieselbe Bezeichnung von den Forschern in ganz verschiedenem Sinne gebraucht wird.

Es hat sich daher mehr und mehr das Bedürfnis nach etwelcher Vereinheitlichung geltend gemacht, wie sie in der Geologie für die Bezeichnung der Hauptgesteinsarten und bei den Sedimenten für deren verschiedenes Alter bereits allgemein gebräuchlich ist. Doch darf nicht vergessen werden, daß die Geologie in einer ungleich günstigeren Lage ist, indem die Gesteine eben nach klimatischen Zonen und Höhenlagen keinem regelmäßigen, allmählich vor sich gehenden Wechsel unterworfen sind und somit die Aufstellung einer einheitlichen Skala lange nicht auf dieselben Schwierigkeiten stößt, wie dies in der Pflanzengeographie der Fall ist, ganz abgesehen davon, daß schon auf engem Raume die Mannigfaltigkeit der belebten Natur ungleich größer ist als die der Lithosphäre. Als ein in dieser Hinsicht erster, vorbildlicher Versuch ist die Farben- und Zeichengebung, die *A. Engler* seiner Darstellung der tropischen Vegetation Afrikas zugrunde gelegt hat, zu erwähnen.

Vorbedingungen einer befriedigenden kartographischen Darstellung pflanzengeographischer Tatsachen sind: 1. Das Vorhandensein guter topographischer Karten. Unter „gut" ist nicht nur die richtige, dem

Gelände entsprechende, topographische Aufnahme zu verstehen, ebenso wichtig ist die technische Ausführung. Neben scharfer Linienführung ist besonders ein heller, sauberer Ton der Kartenbilder sehr wünschenswert. Die wenig befriedigende Ausführung der österreichischen phytogeographischen Karten, hauptsächlich derjenigen der Gebirgsgegenden, ist zum guten Teil der ungenügenden Grundlage zuzuschreiben. Auch die italienischen Generalstabskarten sind in dieser Hinsicht recht mangelhaft. Anders in Deutschland und in der Schweiz. Letzteres Land besitzt in seinem topographischen Siegfried-Atlas im Maßstab von $^1/_{50000}$ (Gebirgsteile) und $^1/_{25000}$ (Mittelland) ein Kartenmaterial, das den weitgehendsten Anforderungen vollauf zu genügen vermag. Der Erfolg, den mehrere botanische Karten schweizerischer Forscher erzielt haben, ist in erster Linie der vorzüglichen Landestopographie zu verdanken. Man vergleiche z. B. die Moor- (1903) und Arvenkarte (1909) der Schweiz, die Wald- und Ackerbaukarte der Landschaft Davos (1909) und die soeben zur Ausgabe gelangte „Pflanzengeographische Karte des Berninagebiets“ (1911 [190]) usw. 2. Die Auswahl des den darzustellenden Verhältnissen am besten entsprechenden Maßstabes. Für allgemeine Florenkarten oder für die Darstellung der Verbreitungsareale ganzer Ordnungen und Familien genügt ein Maßstab von $^1/_{15000000}$ bzw. sogar zu $^1/_{50000000}$. In dieser Hinsicht kann als klassisches Beispiel der Atlas der Pflanzenverbreitung von *O. Drude*, 1887 in *Berghaus'* physikalischem Atlas erschienen, gelten. Handelt es sich dagegen um Wiedergabe der Verbreitung einzelner Arten oder gar von Formationen und Assoziationen, so ist ein Maßstab von $^1/_{50000}$ oft schon beinahe zu groß. Bei so weitgehenden analytischen Arbeiten sollte man über eine Grundlage von $^1/_{25000}$ bis $^1/_{15000}$ verfügen können. Im letzteren Fall wird es sogar möglich sein, die durch den Menschen verursachten Veränderungen im ursprünglichen Vegetationsbild wiederzugeben.

An einem pflanzengeographisch-kartographischen Sammelwerk, etwa analog den „Vegetationsbildern“ von Karsten und Schenck, hat es bisher gefehlt. Um so mehr ist der erste Versuch in dieser Richtung zu begrüßen. Es sind die „Icones florae alpinae plantarum“ von *Léon Marret*, deren erste Lieferung, 20 Tafeln enthaltend, soeben erschienen ist (Frühjahr 1911). Dieses Werk hat sich zur Aufgabe gestellt, die Pflanzen der alpinen Höhenstufen der verschiedenen Gebirge der Erde sowohl bildlich als auch auf den jeder Art beigegebenen Verbreitungskarten in ihrer Arealumgrenzung darzustellen, es soll ein wirkliches phototypisches Herbarium werden, das sich durch seine sorgfältige wissenschaftliche und künstlerische Ausführung sehr vorteilhaft eingeführt hat.

Auf dem im Mai 1910 in Brüssel vereinigten internationalen Botanikerkongreß hat *C. Schröter*, nach verschiedenen Gesichtspunkten angeordnet, eine große Sammlung pflanzengeographischer Karten ausgestellt. Die leider noch nicht erschienenen Kongreßakten werden einen eingehenden Bericht enthalten. Immerhin bin ich bereits jetzt in der Lage, hauptsächlich auf Grund eines in der Zürcher botanischen Gesellschaft von

C. Schröter im Winter 1909/10 gehaltenen Vortrages einige Angaben über Prinzipien und Einteilung pflanzengeographischer Karten zu geben.

A. Prinzipien:

1. Das ursprüngliche Kartenbild soll durch die pflanzengeographischen Überdrucke nicht beeinträchtigt werden.

2. Die aufgewendete Mühe soll dem Werte der kartographischen Darstellung entsprechen.

3. Als Darstellungsmittel kommen in Frage: Farben, verschiedenartige Zeichen, Worte, Zahlen, Buchstaben, Unterstreichungen, und deren Kombinationen, sowie Doppelkarten, von denen die obere durchsichtig ist.

4. Für die Auswahl der Farben soll maßgebend sein:

a) Die Farbe muß das Landschaftsbild nach Möglichkeit unterstützen.

b) Sie soll ferner der darzustellenden Vegetation möglichst angepaßt sein (gelb für Wüsten, dunkelgrün für Wälder usw.).

c) Der Effekt soll mit bescheidenen Mitteln erreicht werden können.

d) Die Farben müssen so gewählt werden, daß sie für verschiedene Maßstabe verwendet werden können.

5. Für jedes Gebiet sind Übersichtskarten in kleinem und Detailkarten in größerem Maßstab wünschenswert.

6. Kulturformationen sind in derselben Farbe zu halten, wie die natürlichen Formationen, aus denen sie hervorgegangen sind.

7. Auf jeder Karte ist unbedingt das Jahr der Aufnahme anzugeben.

B. Einteilung der pflanzengeographischen Karten:

I. *Physiographische Karten:* Darstellung der äußeren Faktoren und der Wirkungen ihres kombinierten Einflusses auf die Verteilung der Vegetation. Hierher gehören z. B. klimatische und phänologische Karten, Darstellung des Lichtgenusses, der Windrichtung, Isohypsen, Isochionen, Waldgrenzen, Baumgrenzen, Höhenstufen, Bodenkarten. Als schönes Beispiel einer botanischen Klimakarte sei diejenige *Köppens*[191]) aufgeführt.

II. *Autochorologische Karten*, d. h. Verbreitungskarten systematischer Sippen. 1. Artenareale. *a)* Darstellung einer Art per Karte entweder durch die Punktmethode (mit oder ohne Quadrat), Flächenmethode oder Grenzlinienmethode. *b)* Darstellung mehrerer Arten per Karte, wie sie besonders von der Wettsteinschen Schule und von vielen forstbotanischen Monographien angewendet wird. 2. Verbreitungskarten von Sippen höherer Ordnung.

III. *Synchorologische Karten*, d. h. Verbreitungskarten von Pflanzengesellschaften. 1. Ganz detaillierte Aufnahmen kleinerer Flächen und Darstellung im großen Maßstab nach der Quadrat- oder Gittermethode und nach dem Aufnahmeverfahren von Blomquvist und von P. Jaccard. 2. Formationskarten etwas größerer Gebiete in großem Maßstab, so von Seebezirken, Mooren, Waldformationen, Gesamtformationskarten eines Florenbezirkes. 3. Formationskarten in kleinem Maßstab. *a)* Darstellung einer Formation: Moorkarten, Heidekarten, Waldkarten. *b)* Darstellung sämtlicher Formationen eines Landes. *c)* Darstellung der

früheren Zustände und des Formationswechsels mit Hilfe von übereinandergelegten durchsichtigen Paußkarten.

IV. *Epiontologische Karten* bringen die Verbreitung und die Wanderungswege einzelner Florenelemente zur Darstellung.

V. *Florenkarten* gliedern einzelne Länder bzw. die ganze Erde in möglichst natürlich umgrenzte Vegetationsgebiete.

Im Anschluß an diesen Überblick über die botanische Kartographie sollen endlich noch einige pflanzengeographische Tatsachen und Forschungsrichtungen, die mit den Wohngebieten der einzelnen Arten in mehr oder weniger engem Zusammenhang stehen, kurz erörtert werden.

1. **Massenwirkung.** Die Entwicklung der Kontinentalmassen in den nördlichen Teilen der Alten und Neuen Welt und die Massenerhebungen in allen Hochgebirgen der Erde bewirken stets eine polare bzw. vertikale Hebung fast aller Vegetationslinien.

In Eurasien erreicht die arktische Baumgrenze bei 72° 40′ N. ihren absoluten Polarpunkt im Mündungsgebiete der Chatanga auf der Taimyrhalbinsel, mithin da, wo Asiens Kontinentalmasse am weitesten nach Norden reicht. In Amerika liegt dieser Punkt unter ganz analogen Verhältnissen im nördlichen Alaska (bei ca. 70′ N.) südöstlich vom Cap Barrow. In Asien macht *Larix sibirica Ledeb.,* in Alaska *Picea alba (Ait.) Link* den erfolgreichsten Vorstoß gegen die Arktotundra.[192])

In den Alpen fallen die höchsten Erhebungen der Vegetationsgrenzen ebenfalls mit den größten Massenerhebungen zusammen. Sie liegen in der Schweiz mithin einerseits in den penninischen Alpen, andrerseits im Berninagebiet des Oberengadins. Zur Veranschaulichung dieser Tatsache folgen hier einige Zahlen über höchste Vorkommnisse einiger Kulturen, Waldbäume und klimatischer Grenzlinien in den Vor- und Zentralalpen.

	Voralpen	**Zentralalpen**
Klimatische Schneegrenze (nach *Jegerlehner*[193])	2450 *m* (Säntisgruppe) 2740 *m* (Diableretsgruppe) 2950 *m* (Finsteraarhorngruppe, Maximum der Nordalpen).	3200 *m* Monterosagruppe
Hochstämmige Baumgrenze (nach *Imhof*[158])	1650 *m* Säntis 2050 *m* Grimsel	2350 *m* ob Zermatt
Pinus Cembra L. (nach *Rikli*[127])	2100 *m* Arbenhorn, Kanton Bern	2585 *m* Saastal
Picea excelsa Link	1800 *m* Berner Oberland nach *L. Fischer*[194])	2260 *m* Wallis (nach *H. Jaccard*[122])
Fagus silvatica	1300 *m* Berner Oberland nach *L. Fischer*[194])	1650 *m* Joux brûlée, Wallis (*H. Jaccard*[122])
Kultur der Weinrebe (nach *Christ*[50])	700 *m*	1220 *m* ob Visp

Auch im Mittelmeergebiet übt die Massenerhebung auf die Höhengrenzen eine hebende Rolle aus. Es hat dies zur Folge, daß die Apennin- und Balkanhalbinsel die niedrigsten Höhengrenzen aufweisen, indessen die erfolgreichsten Vorstöße der mediterranen Flora gegen die Hochgebirgsregionen in den Grenzgebieten des Westens, am Nordrand des afrikanischen Wüstengürtels und in der Nachbarschaft des kontinentalen Asiens zu suchen sind.

M. Koch[195]) entnehmen wir in Metern folgende Mittelwerte (M) bzw. Höchstwerte (H) von Höhengrenzen des Mittelmeerbeckens:

		Iberische Halbinsel	Italien	Balkan	Vorder-Asien	Nord-Afrika
Mediterrane Vegetation	M.	700	650	550	475	930
	H.	1470	800	625	750	1200
Waldgrenze:	M.	1820	1800	1850	1960	2050
	H.	2280	2000	2060	2600	2200
Arbutus Unedo: . . .	M.	870	825	750	730	1400
				A. Andrachne.		
	H.	1200	850	750	980	1450
Erica arborea:	M.	1215	940	715	813	—
	H.	1700	1200	810	850	—
Ölbaum:	M.	750	590	420	482	935
	H.	1200	920	750	850	1280
Steineiche:	M.	1200	900	1010	—	1930
	H.	1900	1850	1600	—	2700
Pinus halepensis: . .	M.	1065	700	600	720	1275
	H.	1200	700	1000	1137	1700

Die verhältnismäßig unbedeutenden Abweichungen von der allgemeinen Regel finden ihre Erklärung teils in den örtlichen Verhältnissen, teils in dem starken Zurücktreten bzw. Fehlen einzelner Arten in bestimmten Partien des Mediterrangebietes.

2. **Wanderungsbahnen und Wanderungshindernisse.** Meere, Flüsse, Gebirgszüge beeinflussen oft in recht augenfälliger Weise die Verbreitung der Gewächse. An dieser Stelle soll nur kurz von der pflanzengeographischen Bedeutung der Gebirge die Rede sein.

Eine allgemeine Betrachtung der Verbreitungsgesetze, die übrigens auch durch theoretische Erörterungen unterstützt wird, ergibt, daß Meridiangebirge wichtige Verbreitungslinien für nordsüdliche und südnördliche Wanderungen arktischer Pflanzen bzw. südlicher Oreophyten darstellen. Kjölen, Ural, Werchojansker Scheidegebirge, Stanovoigebirge, Rocky Mountains und Alleghanies sind die wichtigsten Linien, längs denen die arktische Flora zum Teil auch noch heute in mehr oder weniger ununterbrochener Reihenfolge die erfolgreichsten Vorstöße nach Süden macht. Mit

der Entfernung von ihrem Ausgangszentrum nimmt ihre Artenzahl naturgemäß allmählich ab. In Norwegen erstrecken sich die südlichen Vorposten dieser Wanderungslinie bis in die Fjeldregion des südskandinavischen Hochlandes (ca. 59° N.); im Ural reichen sie bis zum Jremel (ca. 54° N.), im Felsengebirge bis nach Utah (38° N.) und vereinzelt sogar noch südlicher. Zwischen dem Werchojansker Scheidegebirge und dem Stanovoigebirge einerseits, dem Jablonoigebirge und der mittelasiatischen Gebirgswelt andrerseits ist die Verbindung auch heute noch so intensiv, daß eine größere Zahl von arktischen und zentralasiatischen Pflanzen hier von den Niederungen des Nordens bis zu der Gebirgswelt des Südens und umgekehrt nahezu kontinuierlich verbreitet ist. Die Alleghanies stehen jetzt mit der arktischen Region in keiner direkten Verbindung mehr (Nordpunkt bei ca. 42° 30′ N.), wohl war dies aber zur Glazialzeit der Fall. Damals gelangten arktische Pflanzen in dieses Gebirge und verbreiteten sich weiter nach Süden. Als Relikte haben sie sich daselbst vielfach bis heute zu halten vermocht.

Umgekehrt bilden Gebirgssysteme, die mehr oder weniger parallel zu den Breitegraden verlaufen, das heißt von Westen nach Osten streichen, für dieses Formelement bald ein erhebliches Verbreiterungshindernis, bald ein Refugium. So hat z. B. das Alpensystem im weitesten Sinn des Wortes, von den Pyrenäen bis zu den transsilvanischen Alpen und dem Balkan, der Aktionssphäre der arktischen Flora Halt geboten. Nur wenige Arten haben das Hindernis zu überschreiten vermocht. Dreimal scheint, von nördlichen Gegenden ausgehend, eine „Pflanzenwelle“ sich nach Süden ausgebreitet zu haben, jedesmal hat sie an einem solchen Gebirgssystem gebrandet und damit ihre Südgrenze gefunden. Von diesen drei Pflanzenwanderungen sprechen die arktischen Florenbestandteile der Hochalpen, die mitteleuropäisch-silvestren Elemente vieler höherer Gebirgsteile der Mittelmeerländer, die mediterrane Flora der Hochalpen des Sahara-Atlas. Letztere bildet mit zahlreichen Arten unter denen wir *Rosmarinus officinalis L., Quercus Ilex L. var. ballota Desf. p. sp., Juniperus Oxycedrus L.* und *I. phoenicea L.* hervorheben, mediterrane Inseln (ca. 45% der Gesamtflora [196]), mitten hineingesetzt in die Hochsteppenvegetation und in die Wüstenflora des Nordrandes der Sahara. Auf dem Djebel Mekter bei Aïn Sefra, dessen Gipfel 2061 *m* erreicht, hatte ich am 6. April 1910 Gelegenheit, mich von dem starken mediterranen Floren-Einschlag der höheren Stufen des Sahara-Atlas aus eigener Anschauung zu überzeugen. [197])

Meridiangebirge bilden dagegen öfters trennende Schranken zwischen West und Ost. Wir erinnern an das Felsengebirge und den vollständig verschiedenen Charakter der Pflanzenwelt Kaliforniens und der Präriengebiete des Mississippibeckens, ferner an den Ural, der für manche asiatische Arten zu einem Hindernis weiterer Ausbreitung geworden oder doch die Wanderung nach Westen verzögert hat. *Pinus Cembra L.* ist nach Westen nur bis zur Dwina vorgedrungen, *Alnus viridis* (Chaix.) Lam. u. DC. und die Pichtatanne (*Abies Pichta Forbes*) reichen in ihren letzten vorgeschobensten

Posten nur etwa bis Mesen. Umgekehrt hat das Alpensystem die Einwanderung bzw. Erhaltung östlicher Steppenelemente begünstigt: es sei nur an *Stipa*, an das *Edelweiß*, an *Hedysarum*, an *Astragalus* und *Oxytropis*-Arten erinnert.

3. **Florenisolierung.** Da, wo durch längere Zeiträume Wanderungshindernisse einen Florenbezirk von seiner Verbindung mit der übrigen Welt entweder vollständig trennen oder doch die Wechselbeziehungen auf ein Minimum herabgesetzt werden, sind die Verhältnisse gegeben, die zur Sonderentwicklung einer Flora führen müssen. Solche Gebiete sind reich an Endemismen, das heißt an Arten mit beschränkten, zuweilen sogar punktförmigen Verbreitungsarealen. Ozeanische Inseln, die durch ausgedehnte, tiefe Meere von den benachbarten Kontinenten getrennt sind, Wüsten und gewisse Steppengebiete, wo die Individuen in so lockerem Verbande auftreten, daß jedes für sich gewissermaßen ein Einsiedlerleben führt, Gebirgslandschaften, die sich nicht aus langen, zusammenhängenden Gebirgszügen, sondern aus einzelnen, durch Niederungen getrennten Gebirgsstöcken aufbauen, sind die bevorzugten Bildungsherde des Endemismus. Der Prozentsatz an Endemen wird umso größer sein, je abgelegener der Florenbezirk ist, je ungünstiger seine Verbindungen mit der übrigen Welt sich gestalten, und je länger die Isolierung angedauert hat. Zahlreiche in ihrer Verbreitung engbegrenzte Arten, endemische Genera, deren nächste Verwandte auf verschiedenen, weit voneinander entfernten Festländern zu finden sind, und da, wo genügend Feuchtigkeit vorhanden ist, auch ein hoher Prozentsatz an Farnen sind die wesentlichen Merkmale isolierter Florenentwicklung.

Hier zunächst einige Beispiele des Endemismenreichtums einzelner ozeanischer Inselgruppen.[198]) In den aufgeführten Zahlen haben wir jeweilen die Anthropochoren, d. h. die nachträglich durch den Menschen eingeschleppten Arten außer Betracht gelassen.

St. Helena zählt 65 Gefäßpflanzen: sämtliche 38 Blütenpflanzen sind endemisch, dazu kommen noch 12 einheimische Farne. Es ergeben sich also 50 Endemismen, d. h. 77% der Gesamtflora. Unter den Blütenpflanzen sind 5 endemische Genera. Von den 15 nicht einheimischen Farnen sind 10 in den Tropen allgemein verbreitet, 3 sind afrikanisch, 1 amerikanisch und *Asplenium lanceolatum Huds.* ist außer in Afrika auch in Europa vertreten.

Sandwich-Inseln. Von den 860 Spezies dieser Inselgruppe sind 74·6% endemisch: sie umfassen 155 Farne (18%) und 705 Blütenpflanzen, davon sind nicht weniger als 653 (92%) endemisch. Die Verwandtschaftsbeziehungen weisen hauptsächlich auf Amerika, zum Teil auch auf Australien und Neuseeland.

Juan Fernandez-Inseln, westlich von Chile. Nach *Johow*[199]) sind von den 143 Arten 42 Farne (29%). Endemismen gibt es 69 (48%), darunter finden sich mehrere sehr isolierte Formen, wie die *Lactoris Fernandeziana Phill.*, die nach *A. Engler*[200]) sogar eine eigene Familie bildet und

Thyrsopteris elegans, ein monotyper Baumfarn von uraltem, an karbonische Farne anklingendem Typus.[201])

Galapagos-Inseln. Sie zählen nach *Hooker*[202]) 499 Gefäßpflanzen, davon sind 205 (41%) endemisch; dazu kommen aber noch 34 endemische Varietäten. Von den 52 Farnen (10·4%) sind dagegen nur 3 endemisch. Besonders befremdend ist jedoch die Tatsache, daß jede endemische Art in der Regel nur auf einer oder auf wenigen Inseln vorkommt und auf den anderen von differenten, aber nahe verwandten Spezies derselben Gattung vertreten wird.

Mit Leichtigkeit könnten diese Beispiele noch bedeutend vermehrt werden. Von kontinentalen Endemismen, die nur ausnahmsweise die Zahlen der ozeanischen Inseln erreichen oder gar übertreffen, sei nach *E. Bonnet*[203]) der Endemismus der Atlasländer aufgeführt: Marokko 8%, Algerien 15·6%, Tunis 1·4%, Tripolis und Cyrenaika 4·8%, Ägypten und Marmarika 3·8%. Nach *Diels*[204]) zählt Westaustralien sogar 80% Arten, die nur in diesem Gebiet autochthon auftreten und ist damit das an Endemen reichste Land der Erde. Allerdings darf man aus der rohen Statistik der Endemen nicht zu weitgehende Schlüsse über die Eigenart einer Flora ziehen, und das schon deshalb nicht, weil es recht verschiedene Grade und Arten von Endemismus gibt.

Zur Illustration dieser Tatsache wollen wir noch den mir aus eigenen Beobachtungen etwas näher liegenden Endemismus der Canaren, der Balearen und denjenigen Korsikas miteinander vergleichen. Nach *Fr. Sauer*[205]) umfaßt die Canarenflora 1296 Phanerogamen, davon sind jedoch 490 Spezies als eingeschleppt oder eingeführt von unserer Betrachtung auszuschalten. Die eigentliche Canarenflora zählt somit 806 Arten[206]), davon sind 414 endemisch, d. h. nur auf den Canaren, sei es auf allen, sei es nur auf einzelnen Inseln einheimisch, das sind 51·4%, für eine verhältnismäßig so küstennahe Inselgruppe eine ungewöhnlich hohe Zahl. Legt man der Berechnung die gesamten makaronesischen Endemen, d. h. alle Arten zugrunde, die auf die atlantischen Inseln (Azoren, Madeira, Canaren, Kapverden) beschränkt sind, so erhöht sich die Zahl auf 477[207]) (59%). Diese Endemen sind durch eine Reihe gemeinsamer Merkmale, die man als atlantisch-insulare Facies der Inselflora bezeichnen kann, ausgezeichnet. Charakteristisch für diesen Typus sind: die Verstärkung und Verlängerung des Stammes, die Hinneigung zur starken Verdickung oder zur Succulenz, die Rosetten- und Federbuschbildung der schmalen, öfters ebenfalls succulenten Blätter; die Blütensphäre ist nicht besonders aktiv, Anthesen erfolgen oft erst nach langen Intervallen; außerordentlich stattliche Inflorescenzen mit meist verhältnismäßig kleinen Blüten. Entsprechend der Gleichmäßigkeit des Klimas erfolgt die Blüten- und Fruchtbildung ziemlich regellos.

Welcher Art ist nun der Insularendemismus der Canaren? Zur Beantwortung dieser Frage wollen wir zunächst noch den Endemismus der Balearen und Korsikas, die einfachere Verhältnisse aufweisen, zu Rate ziehen.

a) **Balearen.** Die spezifischen „Balearenpflanzen“ stehen in ihren morphologischen Merkmalen allgemeiner verbreiteten Mittelmeerpflanzen so nahe, daß sie nur als systematisch wenig differente Unterarten oder sogar nur als Varietäten zu deuten sind.

So sind z. B.:

Die Balearenpflanzen:	Anderswo ersetzt durch:
Cyclamen balearicum Willk.	C. repandum Sibth. et Sm.
Viola Jaubertiana Marès et Vig.	V. odorata L.
Clematis balearica Rich.	C. cirrhosa L.
Hippocrepis balearica Jacq.	H. valentina Boiss.
Smilax balearica Willk.	S. aspera L.
Astragalus Poterium Vahl.	A. massiliensis Lamk. etc.

Die sogenannten Charakterpflanzen der Balearen dagegen sind nur relative, nicht absolute Endemismen, denn sie finden sich auch noch auf dem Kontinent und in der Tyrrhenis, erreichen aber immerhin auf den Balearen wenigstens zum Teil ihr Massenzentrum. So z. B.:

Hypericum balearicum L. Auch isolierte Standorte in Italien.
Ampelodesmus tenax Link. Katalonien, Atlas.
Teucrium subspinosum Pourr.
Lavandula dentata L. Valencia, Oran.
Polygala rupestris Pourr. Ostspanien, Südfrankreich, Nordafrika.
Rhamnus lycioides L. hispano-mauritanisch.
Helianthemum caput felis Boiss. Rocher d'Ifac, Oran.

Kurz zusammengefaßt ergibt sich somit, daß die spezifischen Balearenpflanzen Neo-Endemismen sind, sie weisen auf eine geologisch verhältnismäßig kurze Abtrennung der Inselgruppe vom spanischen Festlande hin. Daß einige relative Endemismen, von systematisch entschieden größerem Gewicht, auf Mallorca ihr Massenzentrum finden, deutet (für die Zukunft) einen beginnenden Reliktenendemismus an.

b) **Korsika.** Wir unterscheiden zwischen korsischen und tyrrhenischen Endemen, letztere gehören nicht nur Korsika, sondern auch noch den übrigen Trümmern der ehemaligen Tyrrhenis (siehe *Forsyth Major* [208]), d. h. Sardinien, den toskanischen Inseln, Mte. Argentario an. Die Zahl der Endemismen ist ziemlich stattlich, eine kritische Revision derselben wäre immerhin erwünscht. Ihre Zahl wird auf ca. 130 Arten angegeben. Was die tyrrhenischen bzw. korsischen Endemen fast alle auszeichnet, ist, daß es sich zumeist nicht nur um gute Arten handelt, sondern sogar vielfach um Arten, die in ihren Gattungen eine mehr oder weniger ausgesprochene Sonderstellung einnehmen, einem besonderen Tribus zugezählt werden oder selbst Monotypen sind. Dafür einige Beispiele.

Morisia hypogaea Gay ein monotypisches Cruciferengenus, nächst verwandt mit der Gattung Crambe, hat succulente fiederteilige Blättchen und gelbe Blüte, eine tiefe Pfahlwurzel und Geokarpie. Nur in Korsika und Sardinien verbreitet.

Alyssum corsicum Duby[209]), strauchig, an der Basis stark verholzt. Blätter silberglänzend, heterophyll; blüht intensiv goldgelb. Einziges Vorkommen im Val de Fango bei Bastia. Beispiel eines Lokalendemismus bei gleichzeitiger Massenverbreitung.

Helichrysum frigidum Willd. „Das Edelweiß der korsischen Berge", mit strahlenden weißen Hüllblättern, nimmt eine Sonderstellung im Tribus der „Stoechas" ein. Die drei nächst verwandten Arten sind ostmediterrane Gebirgspflanzen. Einzig auf Korsika.

Stachys glutinosa ist eine tyrrhenische Pflanze von sehr xerophytischem Bau, die ganz mit Harzdrüsen bedeckt ist und deren Äste verdorren. Nächst verwandte Arten auf Euböa, Kreta und den Bergen Südwestpersiens.

Linaria capraria, Strandfelsenpflanze, mit glauken, etwas succulenten Blättern. Nur auf Capraja, Elba und Gorgona.

Der Endemismus Korsikas hat somit ein ganz anderes Gepräge als derjenige der Balearen. Der gute Artcharakter der korsischen Endemen, ihre öfters isolierte Stellung, systematisch innerhalb ihrer Gattung und pflanzengeographisch zu ihren nächst verwandten Arten, sowie ihre öfters beinahe punktförmige Verbreitung stempeln die meisten dieser Arten zu Palaeo-Endemismen mit ausgesprochenem Reliktencharakter.

c) **Canarische Inseln.** Wie steht es nun aber mit den canarischen Endemen? Eine kritische Untersuchung ergibt, daß dieselbe mehrere verschiedenwertige Bestandteile umfaßt. Zum Teil sind es:

I. **Neo-Endemismen.** Hierher.

1. Zahlreiche insular-atlantische Varietäten mediterraner Arten:

Hedera helix, L. v. canariensis Webb et Berth., Arum italicum Mill. v. canariense Webb et Berth. Notolaena Marantae R. Br. v. canariensis Buch., Asparagus albus L. v. pastorianus Webb et Berth. usw.

2. Insular-atlantische Arten mediterraner Verwandtschaft. So z. B.:

Tamus edulis Lowe, nächstverwandt mit *T. communis L.*

Pancratium canariense L., nächstverwandt mit *P. maritimum L.*

Atractylis Preauxiana Sch. Bip. (Cran Canaria), nächstverwandt mit *A. cancellata L.*

Artemisia canariensis Lees., nächstverwandt mit *A. arborescens L.* usw.

3. Die Hauptmenge der höheren Gebirgsflora:

Viola cheiranthifolia H. et B. der Gipfelregion des Teyde, verwandt mit *V. tricolor L.*

V. Palmensis W. B. von der Insel Palma, verwandt mit *V. lutea Sm.*

Silene nocteolens W. B., verwandt mit *S. nutans L.* usw.

II. **Palaeo-Endemen,** und zwar sind zwei Fälle zu unterscheiden:

α) Relikten oder passive Endemen, vielfach Monotypen; Arten, die in ihren Formen erstarrt sind, zumeist Überbleibsel der Tertiärflora:

Dracaena Draco L., Pinus canariensis Chr. Sm., Viburnum rugosum Pers., Oreodaphne foetens Nees., Pleiomeris canariensis D. C., Phoenix Jubae Webb et Berth. usw.: es sind dies Arten, die zum Teil in identischen, zum Teil in nahverwandten Formen im oberen Tertiär von Spanien und Südfrankreich nachgewiesen worden sind.

β) Aktive Palaeo-Endemen, wohl die interessanteste Gruppe. Es sind das nicht aussterbende Monotypen, die ihr Variabilitäts- und Anpassungsvermögen eingebüßt haben, sondern in regem Fluß befindliche Formenkreise. *L. Diels* hat neuerdings (1908[210]) diesen Vorgang in prägnanter zutreffender Weise als „endemischer Progressivismus“ bezeichnet. So umfaßt die Gattung Sempervivum mit den nahverwandten Genera Monanthes, Greenowia, Aeonium, Aichryson, nicht weniger als 59 endemische Arten; die Echien sind zu stattlichen Sträuchern geworden und zählen 13 Spezies; die Gattung Statice, die „sempervivas de mar“ weisen 9 Endemen auf, die Gattung Sonchus ist durch die endemische, 14 baumartige Typen umfassende Sektion Dendrosonchus vertreten. Die Sektion Pachyclada der Gattung Euphorbia zählt 7, die Sektion Rhodorrhiza von Convolvulus 6 Endemismen.

Diese Formenkreise bestehen somit nicht aus scharf ausgeprägten, systematisch isolierten Arten. Es sind nah verwandte Typen, deren gegenseitige systematische Abgrenzung oft auf nicht unerhebliche Schwierigkeiten stößt. Doch sind viele dieser Arten von sehr beschränktem Auftreten und öfters hat jede Insel ihre ihr speziell eigentümlichen Arten, die auf den Nachbarinseln durch vikariierende Spezies vertreten sind. Ein ganz ähnliches Verhalten ist, wie bereits erwähnt, von den Galapagosinseln bekannt. *B. L. Robinson*[211]) hat den Versuch gemacht, für die Galapagosinseln eine Erklärung dieses sonderbaren Verhaltens zu geben. Er nimmt an, die Samen der gemeinsamen Muttersippe jeder solchen Spezies- oder Varietätengruppe seien zu verschiedenen Malen, aber in sehr langen Intervallen nach den Inseln gelangt. Die Deszendenten des zuerst gekommenen Samens haben die betreffende Insel an den ihr zusagenden Standorten besiedelt. Bei der Ankunft der nächsten Samenzufuhr sei deren insulare Anpassung schon so weit fortgeschritten gewesen, daß der neue Ankömmling nicht mehr festen Fuß zu fassen vermochte, oder doch wenigstens durch Kreuzung in der einheimischen Rasse aufgegangen ist. In solcher Weise hätten sich auf den verschiedenen Inseln infolge zufälliger Samenzufuhr differente Rassen herausbilden können, die sich wegen ihrer Isoliertheit allmählich zu neuen Arten entwickelt haben.

4. **Variabilität an der Peripherie der Verbreitungsareale.** Die genauen monographischen Untersuchungen polymorpher Formenkreise haben, wie *R. v. Wettstein*[212]) hervorhebt, gezeigt, daß zwischen Formgestaltung bzw. Artbildung und den Lebensbedingungen, unter denen die Pflanzen leben, die innigsten Beziehungen bestehen. Diese Beziehungen äußern sich darin, daß die weiterer Ausbildung fähigen Pflanzen sich den jeweilen neuen Existenzbedingungen anpassen. Daraus ergibt sich, daß

wenn eine Art, die ein einförmiges, in seiner ganzen Ausdehnung annähernd gleiche Verhältnisse gewährendes Wohngebiet besiedelt hat, sich über dasselbe hinaus horizontal oder vertikal ausbreitet, und dabei in Gebiete kommt, wo neue zonenartig angeordnete Lebensbedingungen herrschen, sie sich allmählich verändern wird. Umgekehrt werden die in Anpassung an räumlich bestimmt verteilte Faktoren entstandenen Arten durch analoge Verbreitung Rückschlüsse auf ihre Entstehung gestatten. Da die Gebiete mit verschiedenen Lebensbedingungen stets durch Übergangsregionen miteinander verbunden sind, so werden die neu entstandenen Arten durch mehr oder weniger breite Zonen mit nicht hybriden Übergangsformen charakterisiert sein. Sofern die Verwandtschaft eine sehr nahe ist, grenzen sie mit ihren Verbreitungsgebieten aneinander, schließen sich aber gegenseitig aus. Es handelt sich in diesen Fällen natürlich hauptsächlich um morphologisch sehr ähnliche, nur graduell verschiedene, sogenannte „petites espèces" im Sinne *Jordans*.

Zur Veranschaulichung des Gesagten bringen wir einige Beispiele. Zunächst zwei Fälle aus meiner Monographie der Gattung *Dorycnium*.[213]) *Dorycnium herbaceum Vill.* ist eine äußerst polymorphe Pflanze, deren Massenzentrum im nördlichen und mittleren Italien, in Dalmatien und Bosnien liegt. In der älteren Literatur findet man eine größere Zahl von Arten beschrieben, die alle diesem Formenkreis angehören. Verfügt man über ein umfangreiches Vergleichsmaterial, so kann man, vom Typus ausgehend, nach all diesen „petites espèces" vollkommen kontinuierlich gleitende Reihen aufstellen. Wären jedoch nur die Endglieder bekannt, so würde es sich vielleicht noch rechtfertigen, sie als besondere Arten zu unterscheiden. Auf die Beschreibung des Typus und seiner Varianten müssen wir hier verzichten, Interessenten verweisen wir auf die Originalabhandlung. Uns beschäftigt nur das Ergebnis: Der Typus bewohnt annähernd das Zentrum des Verbreitungsgebietes, *intermedium* das östliche Grenzgebiet des Areals der Gesamtart, *glabratum* das südliche, *septentrionale* das nördliche Grenzgebiet.

Ähnliche Verhältnisse zeigt *D. hirsutum (L.) Ser.* Die verbreitetste Pflanze des Formenkreises ist ohne Zweifel *v. hirsutum Rikli* = *(Bonjeania hirta Jord. et Fourr. p. p.)*, sie zieht sich in einer breiten Zone mitten durch das Verbreitungsareal der Gesamtart, von Portugal bis nach Syrien, immerhin so, daß ihr Massenzentrum dem Westen (Iberien, Südfrankreich) angehört. Das Hauptcharaktermerkmal ist, daß der Stengel keine kurzen Filzhaare aufweist, sondern nur eine zerstreute, lockere bis reichlichere lang abstehende Behaarung zeigt.

Im nördlichen Grenzgebiet der Art sind zwei Varianten, die sich durch ihre bedeutend dichtere Behaarung auszeichnen, zur Ausbildung gelangt: *v. incanum (Loisl.) Ser.* ganze Pflanze dicht anliegend, weiß, wolligfilzig behaart und Blüten kleiner; findet sich in typischer Ausbildung nur an der Riviera und in Nord-Korsika; *v. tomentosum Ri.*, Blätter mehr oder weniger dicht zerstreut behaart, Stengel neben der langzottigen Behaarung

noch mit kürzeren Filzhaaren bedeckt. Verbreitung hauptsächlich im nördlichen Italien, in Südtirol, Istrien und Dalmatien. Diesen nordischen Pflanzen gegenüber sind noch drei mehr und mehr verkahlende südliche Varianten zu unterscheiden: *v. ciliatum Ri.*, Blattfläche verkahlend, Behaarung besonders am Rande und auf dem Mittelnerv dicht borstig-wimperig. In Südspanien, Balearen, Griechenland; *v. glabrescens Ri.*, noch weiter verkahlend, unterer Teil der Pflanze ganz kahl, obere Blätter nur am Rande und auf dem Mittelnerv zerstreut wimperig. Mogador (Marokko), also im äußersten Südwesten des Areals der Gesamtart; *v. glabrum Schmitzlein*, ganze Pflanze völlig kahl: Griechenland und nach *S. Sommer* auch noch auf der kleinen toskanischen Insel Pianosa.

Campanula rotundifolia L., eine Art, die in Eurasien, von den südlichsten Vorposten abgesehen, in beinahe ununterbrochener Verbreitung vom Nordrand der Sahara, von den Gebirgen Zentralasiens und von Japan bis in den Hochnorden verbreitet ist, und in Amerika bis Colorado und Nebraska ausstrahlt und sogar gelegentlich in der Prairie zu einem tonangebenden Bestandteil wird, entwickelt sowohl in den südlichen als auch in den nördlichen Grenzgebieten, sowie ganz besonders da, wo die Art in Gebirgsgegenden eindringt, eine Unmenge von Abweichungen verschiedenen Grades, die von den Autoren bald nur als Rassen und Formen, bald als Varietäten und Subspezies taxiert werden, indessen im Hauptverbreitungszentrum der Gesamtart, im großen Waldgebiet der nördlichen Hemisphäre, die Art dagegen verhältnismäßig konstant ist.

Grönland hat die Varietäten *uniflora Lge.*, *arctica Lge.*, *stricta Schum.*, Skandinavien *v. petiolata Behm* und *f. grandiflora L. M. Neumann*; Schottland *v. hirta Koch.*, *v. velutina DC.*; im Balkan werden nach *Adamović* unterschieden: *v. euxina*, *v. pinifolia*, *v. serbica*; in Dalmatien *v. Velebitica V. Borbas*; in Sardinien *v. Forsythii G. Arcangeli*; in Spanien (Alicante) *v. saxicola*. In Algerien als besondere Art *C. macrorhiza J. Gay.*, von der wieder *v. subramulosa Trab. Batt.* und *v. jujurensis Pomel.* unterschieden wurden. Auch *C. Scheuchzeri Vill.* unserer Alpen ist wohl nur eine der subalpinen und alpinen Region angehörige vikariierende Art aus dem Formenkreis des die Ebene bewohnenden Typus. Diese Liste könnte noch bedeutend vermehrt werden; eine kritische Revision des ganzen umfangreichen Formenkreises wäre dringend erwünscht und würde wohl zu interessanten Gesichtspunkten führen.

Unsere Kenntnis der geographischen Rassen- und beginnenden Speziesbildung ist ganz besonders durch zwei Methoden vertieft und bereichert worden:

1. Durch die pflanzengeographisch-morphologische Methode, wie sie durch *R. v. Wettstein* und dessen Schule begründet und ausgebaut worden ist. Die beiden fundamentalen Arbeiten in dieser Hinsicht sind *Wettsteins* „Monographie der Gattung Euphrasia" (1896) und die Bearbeitung der europäischen Arten der Gattung Gentiana aus der Sektion Endotricha.[214]) In der bereits früher zitierten Schrift hat

Wettstein (1898) in sehr klarer Darstellung ein zusammenhängendes Bild der Art und Weise der Durchführung einer systematischen Monographie nach seinen Prinzipien gegeben. Da es kaum möglich ist, in gedrängter Form und ohne entsprechendes Kartenmaterial über diesen Forschungszweig zu berichten, verweisen wir auf die betreffende Abhandlung. Das besondere Interesse, das sich an diese Methode knüpft, besteht darin, daß dieselbe ermöglicht, zwei Kategorien von Sippen der europäischen Flora zu unterscheiden, einerseits ältere Sippen, die in gleicher Form schon vor der Eiszeit existierten, welche dieselbe entweder in Europa überdauert haben oder nach Ablauf der Eiszeit in unveränderter Form wiederum eingewandert sind, andrerseits jüngere Sippen, welche erst nach Eintritt oder Ablauf der Glazialperiode hier entstanden sind — so gelangt diese Methode zur Konstatierung der Zweigspitzen des Stammbaumes mit ihren letzten Ästen.

2. Durch die variationsstatistische Methode. Sie erstreckt sich auf das Studium der Gesetzmäßigkeiten der kleinsten Abweichungen, z. B. auf die Schwankung der Blütengröße, der Blattform (Verhältnis von Länge zur Breite), der Blütenform, Zahl der Blüten im Blütenstand usw. und dies auf Grund der statistischen Methode an Hand eines möglichst umfangreichen Beobachtungsmaterials. All diese Größen ändern sich innerhalb zweier extremer Grenzwerte. Es könnte zunächst scheinen, daß in diesem Chaos kleinster Abweichungen keine Gesetzmäßigkeit herrscht, sondern alles nur vom Zufall abhängt. Wird aber irgend ein solches Merkmal in einer sehr großen Zahl von Fällen studiert und einerseits die möglichen Varianten, andrerseits die Zahl der Fälle auf ein Ordinaten- und Abszissensystem eingetragen, so kommt man für jeden Fall und jede Gegend zu einer ganz bestimmten ein- oder mehrgipfeligen Kurve, deren Gipfelpunkte sich aber bei Ausdehnung der Studien über einen größeren geographischen Bezirk allmählich verschieben. Hat man eine dreigipfelige Kurve gefunden, so ist es möglich, daß bei Erweiterung der Studien auf ein größeres Areal in verschiedenen Gegenden drei verschieden eingipfelige Kurven, deren Gipfelpunkte mit den drei Kulminationspunkten der ersten Aufnahme übereinstimmen, festgestellt werden. Es ergibt sich daraus, daß die erste Beobachtungsserie keine reine „Population", sondern drei differente Rassen umfaßt hat. Ohne die biometrisch-statistische Methode ist es vielfach kaum möglich, solche verwickelte Komplexe zu analysieren. Die Herstellung reiner Linien[215]) ist bekanntlich für die Erblichkeitslehre von größter Bedeutung geworden.

Zur Veranschaulichung des Gesagten wählen wir ein Beispiel. *R. Chodat*[216]) hat gegen 30.000 Blüten von *Orchis Morio L.* nach der Zahl der Farbflecken des Labellums untersucht. Die Variationsgrenzen sind 0 und 45. Im ganzen Verbreitungsareal kehren gewisse Gipfelpunkte mit großer Regelmäßigkeit immer wieder. Der Hauptgipfel wechselt, bei Genf liegt er bei 11, gegen den Atlantischen Ozean verschiebt er sich nach 9, in Osteuropa (Breslau) gelangen die ursprünglich sekundären Gipfel 13, 15, 17 zu größerer Bedeutung. Auf Mallorca (Balearen) endlich findet sich eine reine

Rasse mit dem Gipfelpunkt auf der Zahl 5; immerhin ist diese Zahl, auch in den kontinentalen Typen, besonders in den atlantischen Populationen enthalten. *Chodat* spricht sich wie folgt aus: „Cette variation (insulaire) est donc contenue dans l'amplitude de l'espèce complexe continentale; quand même elle ne possède aucun mode ni sur 9, ni sur 11, 13 ou 17 (le maximum de taches observées étant de 10), elle appartient à l'extrême gauche du groupement. C'est comme si elle en avait été isolée par sélection géographique." So hat die Variationsstatistik hier dazu geführt, eine reine insulare, durch räumliche Sonderung bedingte Rasse festzustellen. Auch in der Planktonkunde ist diese Methode wiederholt mit Erfolg angewendet worden.

5. **Florenbestandteile.** — Ein Abschnitt der Pflanzengeographie, dessen Ausbau hauptsächlich den drei letzten Jahrzehnten angehört, ist die Formationslehre, die sich mit dem Studium der sozialen Vereinigung der Arten zu Pflanzengesellschaften befaßt. Bei der gewaltigen Breite, die dieser junge Wissenszweig sowohl nach der analytischen und genetischen, als auch nach der methodischen Seite angenommen hat, kann es unmöglich unsere Aufgabe sein, hier auch noch deren allmählichen Werdegang zu erörtern. Einzelne einschlägige Fragen sind wiederholt wenigstens gestreift worden.

Doch ein Problem ist von so allgemeiner pflanzengeographischer Bedeutung, daß wir mit einigen Worten darauf zurückkommen müssen; es ist die Frage der Florenbestandteile oder Florenelemente.

Bei Betrachtung irgend eines Florenbezirkes kann man dessen Artbestand nach bestimmten Gesichtspunkten in einheitliche Gruppen einteilen. Gruppen von Arten, welche gleichen oder doch ähnlichen Charakter besitzen, bilden je einen Florenbestandteil. Das Einteilungsprinzip liefert entweder die Ökologie oder die Pflanzengeographie. Die Ökologie unterscheidet biologische und Formationselemente. Erstere umfassen Arten von gleichem oder doch ähnlichem biologischen Gesamtcharakter, also z. B. Parasiten, Xerophyten, Tropophyten, Polsterpflanzen usw., letztere Arten, die sich zu einer einheitlichen Formation zusammenfinden. Sehr oft kommt es jedoch vor, daß eine Art mehreren Formationen angehört, und dies entweder schon innerhalb eines engbegrenzten Florengebietes oder der Wechsel im Formationsverbande erfolgt erst auf größere Entfernung.

In pflanzengeographischer Hinsicht hat in der Verwendung des Wortes „Florenelement" lange Zeit die größte Verwirrung geherrscht. Nicht nur wurde der Begriff von den verschiedenen Botanikern, sondern sehr oft sogar vom gleichen Autor in verschiedenem Sinne angewendet. Es ist daher ein großes Verdienst von *M. Jerosch* [217]), in diese Verhältnisse Klarheit gebracht und die verschiedenen Arten von Florenelementen scharf umgrenzt und definiert zu haben. Danach sind drei bzw. vier pflanzengeographische Florenelemente zu unterscheiden:

1. Das geographische Element charakterisiert die jetzige Verbreitung einer Art. *Loiseleuria procumbens* (L.) Desv., wird nach diesem

Gesichtspunkt als arktisch-alpin, *Macrochloa tenacissima* (L.) Kth., das Halfagras, als iberisch-mauritanisch zu bezeichnen sein.

2. Das genetische Element sucht die Frage nach der Heimat der Arten zu beantworten oder, auf die Gesamtflora eines Landes angewendet, will sie „die wichtigsten Stämme aufdecken, aus denen ihre Bestandteile hervorgegangen sind".[218]) Bei der immer noch durchaus ungenügenden Kenntnis der gegenwärtigen Verbreitung vieler Spezies und ihrer tatsächlichen verwandtschaftlichen Beziehungen ist es für den größten Teil unserer Flora heute jedoch unmöglich, auch nur mit einiger Zuverlässigkeit ihr Bildungszentrum festzustellen. Bei anderen Pflanzen ergibt sich wiederum die Frage, ob der nachgewiesene Ursprungsort wirklich der ursprüngliche Schöpfungsherd der Art, oder nur als deren sekundäre Heimat zu betrachten ist. Genetisch sind z. B. *Ranunculus pygmaeus Wahlbg.* und wohl auch *Carex capitata* als arktische Elemente zu bezeichnen.

3. Das historische Element gibt Aufschluß über die Zeit der Einwanderung der Arten in bestimmte Florenbezirke. So ist z. B. *Ranunculus pygmaeus Wahlbg.* für die Alpen als Glazialpflanze, *Dorycnium germanicum (Gremli) Rouy* als aquilonares Element aufzufassen.

Endlich kann man auch noch die Frage aufwerfen: auf welchem Wege ist die Art in die einzelnen Teilgebiete ihres heutigen Verbreitungsareals eingewandert; so kommt man zur Aufstellung des:

4. Einwanderungselementes. Es ist klar, daß die Einwanderung einer Art in ein bestimmtes Gebiet nicht immer nur auf einer Route erfolgen muß, sondern daß dieselbe gleichzeitig oder sukzessive von mehreren Seiten aus erfolgen kann. Als Beispiel wählen wir *Cytisus sagittalis* (L.) *Koch* in der Nordschweiz. Sie findet sich massenhaft in der Ostschweiz, im Schaffhauser Becken, in den warmen Teilen von Nord-Zürich und dem angrenzenden Thurgau, sowie wiederum in der Westschweiz, ist aber im Zwischengebiet sehr spärlich vertreten, ja fehlt sogar auf größere Strecken ganz. In Berücksichtigung dieser Verbreitungsverhältnisse und ihres Verhaltens in den beiden Nachbarländern wird man zur Auffassung kommen, daß diese Art einerseits von Osten, andrerseits von Südwesten in das schweizerische Mittelland gelangt ist.

Ein Vergleich der verschiedenen Florenelemente ergibt, daß die einen allgemeine Gültigkeit, die anderen dagegen nur einen relativen Wert haben. „Absolute Elemente" bleiben sich für eine Art unter allen Punkten ihres gesamten Verbreitungsareals immer gleich, „relative Elemente" können wechseln je nachdem sich die Untersuchung auf das eine oder andere Gebiet des Gesamtareals der Art erstreckt. Als solche relative Elemente sind zu bezeichnen: Das Formationselement, das Einwanderungselement, das historische Element; letzteres deshalb, weil eine Art zu verschiedenen Zeiten in die verschiedenen Teile ihres gegenwärtigen Wohngebietes eingewandert sein kann.

Es ist ein Hauptdesideratum der Pflanzengeographie, die einzelnen Florenelemente für jede Art festzustellen. Von diesem Ziel sind wir jedoch

noch sehr weit entfernt. Nur bei einer verhältnismäßig sehr beschränkten Zahl von Arten sind alle Elemente bekannt. In weitaus der Mehrzahl der Fälle trifft dies nicht zu, oder aber es ist unsere derzeitige Kenntnis eine derartige, daß wir zugeben müssen, daß die gegenwärtigen Ergebnisse nur als provisorischer Natur aufgefaßt werden können, mithin die Zuweisung dieser Arten zu bestimmten Elementen nur mit einem Fragezeichen geschehen kann.

Über das Ziel, das in allen Fällen anzustreben ist, sollen die drei folgenden Beispiele Aufschluß geben:

1. Dryas octopetala L.

in den Alpen.

1. Biologisches Element: xerophytischer Erdstrauch.
2. Formationselement: Zwergstrauchheide, Geröll- bzw. Felsflur.
3. Geographisches Element: arktisch-alpin.
4. Genetisches Element: nordisch *(Schröter! Diels!)*.
5. Einwanderungselement: nordisch (?).
6. Historisches Element: uralte Glazialpflanze *(Engler!)*.

2. Fagus silvatica L.

in Mitteleuropa.

1. Biologisches Element: tropophyter Phanerophyt.
2. Formationselement: Leitpflanze des mikrothermen Laubwaldes.
3. Geographisches Element: europäisch-vorderasiatisch (?) mit Massenzentrum im atlantischen Gebiet.
4. Genetisches Element: Stammformen im Arktotertiären.
5. Einwanderungselement: altnordisch.
6. Historisches Element: Tertiärpflanze (?).

3. Fumana vulgaris Spach.

in Nord-Zürich.

1. Biologisches Element: xerophytischer erikoider Kleinstrauch, ausgesprochener Thermophyt.
2. Formationselement: Begleitpflanze lichter Föhrengehölze.
3. Geographisches Element. Mittel- und Nordmediterran, weit nach Mitteleuropa ausstrahlend.
4. Genetisches Element: mediterran.
5. Einwanderungselement: westliche Einstrahlung.
6. Historisches Element. Vermutlich aquilonares Element.

9. Die Zeit.

Wenn zur Erklärung der Verbreitungsverhältnisse der Flora eines Landes auch alle bereits erörterten exogenen und endogenen Faktoren herangezogen werden, so bleibt trotzdem immer noch eine nicht unbedeutende Zahl pflanzengeographischer Fragen vollkommen ungelöst. Woher

kommt es, daß im hohen Norden viele unserer Alpenpflanzen wiederum auftreten, getrennt durch ein gewaltiges Zwischengebiet, das sich über eine Entfernung von 2000—3000 *km* und mehr erstreckt und in dem diese Arten vollständig fehlen? Ist die Alpenflora ein autochthones Produkt der Alpen, hat sie in denselben die Glazialzeit überdauert, oder ist sie erst postglazial eingewandert? Woher stammen die abenteuerlichen Gestalten der Canarenflora: der Drachenbaum, die *Opuntia canariensis*, die *Plocama* u. a. m.? Wie erklärt sich das Auftreten mehrerer amerikanischer Arten im Westen von Irland: *Spiranthes Romanzoviana, Eriocaulon septangulare, Sisyrinchium angustifolium* usw.? Wie kommt das *Rhododendron ponticum* des Kaukasus in die Gebirge des äußersten Südwestens der Pyrenäenhalbinsel? Die Lösung dieser und noch vieler anderer ähnlicher Fragen kann nicht auf Grund der gegenwärtigen Verhältnisse, sondern nur unter Zugrundelegung der Vergangenheit gefunden werden. Es sind pflanzengeschichtliche Probleme, die nur im Lichte erdgeschichtlicher Erkenntnisse zugänglich sind. Ihre Beantwortung setzt vielfach Verschiebungen von Meereserhebungen, eine andere Verteilung von Wasser und Land, andere Feuchtigkeits-, Wärme- und Konkurrenzverhältnisse voraus: Verhältnisse, die sich im Verlauf der Zeit allmählich geändert haben, deren getreues Abbild das Forscherauge aber noch in der heutigen Verteilung der Organismenwelt erkennen kann.

An einigen wenigen Beispielen soll hier nur noch auf die Quellen verwiesen werden, die dem Pflanzengeographen zur Rekonstruktion der Florengeschichte eines Landes zur Verfügung stehen. Ein weiteres Eingehen auf diese Fragen würde über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen. Wir halten uns ganz an die Pflanzenwelt Mitteleuropas.

In meisterhafter Weise hat es unser genialer Landsmann *Oswald Heer* verstanden, auf Grund seiner sorgfältigen Untersuchungen der pflanzlichen Fossilien zahlreicher tertiärer Fundstellen des schweizerischen Molasselandes (Lausanne, Le Locle, Hohe Rone, St. Gallen und ganz besonders Öningen) ein Bild von dessen präglazialer Pflanzenwelt zu entwerfen. Besonders reich erwies sich die Miocänflora von Öningen, ihre Kalkmergel ergaben nicht weniger als 475 Pflanzenarten. Aus der langen Reihe tertiärer Pflanzengestalten, die *Heer* in lebendiger Schilderung vor unserem geistigen Auge wieder erstehen läßt, seien nur einige der verbreitetsten und bezeichnendsten Typen hervorgehoben. Der Wald war außerordentlich reich an Arten, viel reicher als heutzutage. Neben der Sumpfzypresse *(Taxodium distichum)*, die in der Jetztzeit auf die Südstaaten der Union beschränkt ist, erhob sich die Wasserfichte *(Glyptostrobus heterophyllus)*, heute nur noch in China und Japan zu Hause. Das Rotholz der kalifornischen Küstenwälder hat seinen Vorläufer im Langsdorfischen Mammutbaum *(Sequoia Langsdorfii Br.)*. Unter den Laubbäumen finden wir sogar eine Reihe von Familien vertreten, die Europa jetzt ganz fremd sind oder doch nur in Kultur gehalten werden: nämlich die Amberbäume, die Platanen, die Brot-

fruchtbäume, Nyctaginaceen und Proteaceen; andere dagegen waren wiederum in einer viel größeren Artenzahl vertreten, als dies jetzt der Fall ist, so die Cupuliferen, die Myriceen, die Ulmen, Feigen- und Lorbeerbäume. Von einzelnen Typen seien zur Vervollständigung des Bildes aufgeführt: der *Liquidamber* mit seinen handförmig gelappten Blättern und kugeligen, stacheligen Fruchtkätzchen. Auch die amerikanische Platane war im miocänen Europa weit verbreitet, ebenso einige amerikanische Balsampappeln und die orientalische Lederpappel. Merkwürdig groß war der Reichtum an Ficusarten, von denen jedoch keine der europäischen Feige *(Ficus Carica L.)* entsprach. Einen noch zahlreicheren und wichtigeren Bestandteil des Tertiärwaldes bildeten die Lorbeer-, Zimt- und Campherbäume. Durch ihre Häufigkeit haben der tertiäre Campherbaum *(Cinnamomum polymorphum A. Br.)* und Scheuchzers Zimtbaum *(C. Scheuchzeri Heer)* die Bedeutung von Leitfossilien. Der tertiäre Campherbaum unterscheidet sich nur wenig vom jetzigen, einzig noch im südlichen Japan (besonders Formosa) und China spontan vorkommenden Campherbaume. Der häufigste Lorbeer war *Laurus princeps*, der dem canarischen Lorbeer, *Laurus canariensis*, am nächsten steht. Die Proteaceen sind heute auf Australien und das Kapland zurückgedrängt. Damit ist der Reichtum dieser durchaus subtropischen Flora noch lange nicht erschöpft. Dort erhebt sich ein Ebenholzbaum *(Diospyros brachysepala)*, hier durchziehen Schlingsträucher *(Bignonia Damaris Heer, Vitis teutonica A. Br.)* das Dickicht. Der Tulpenbaum *(Liriodendron Procaccinii Ung.)*, in einer nahverwandten Art in den Alleghanis der atlantischen Staaten der Union vertreten, fehlte auch nicht; dazu kamen Myrtenbäume, Ahornarten (besonders *Acer trilobatum Stb.*), Götterbäume *(Ailanthus)*, zahlreiche *Akazien, Caesalpinien, Cassien, Gleditschien* und die eigentümliche ausgestorbene Gattung *Podogonium*, sowie viele andere mehr. Doch neben diesen fremden Gestalten finden wir auch noch einige uns geläufigere Erscheinungen, wie Weißdornarten, Kirsch-, Zwetschgen-, Mandelbäume, immergrüne Eichen, Hopfenbuche, Haselnuß, Birke usw.

Im Pliocän war das Klima bereits bedeutend kühler, zahlreiche Arten sind verschwunden. Als Relikten aus der wärmeren Miocänzeit erscheinen noch im Val d'Arno bei Florenz *Taxodium distichum* und *Juglans tephrodes*. Deutsche Funde dagegen weisen auf eine Flora, die bereits ein der Jetztzeit ähnliches Klima zur Voraussetzung hat.

Die Glazialzeit hat diese üppige Tertiärflora zum größten Teil vernichtet oder doch ihre Vertreter nach südlicheren Breiten zurückgedrängt. Aus diesen Gründen trägt unsere gesamte spontane Pflanzenwelt in ihren Hauptzügen ein pflanzengeschichtlich recht jugendliches Gepräge. Für den Phytogeographen ergibt sich daher das interessante Problem der Neubesiedelung des vom Eise verlassenen nackten Bodens, sei es aus den während den Eiszeiten innegehabten benachbarten Refugien, sei es aus entfernteren Gebieten.

Um die Florengeschichte eines Landes klarzulegen, stehen dem Botaniker hauptsächlich zwei Quellen zur Verfügung: Die Dokumente

früherer Erdepochen, wie Versteinerungen, Abdrücke, prähistorische Funde usw., und die heutige Verbreitung der Flora, welche unter gewissen Voraussetzungen Rückschlüsse auf die Arealumgrenzung der Arten in der Vergangenheit gestattet.

Zur Gewinnung einer sicheren Grundlage genügt jedoch eine möglichst genaue Feststellung der jetzigen Verbreitungsverhältnisse noch lange nicht. Es ist durchaus notwendig, seine Schlußfolgerungen auf einer möglichst breiten Basis aufzubauen. Daher ist zu achten auf das Massenzentrum der Pflanze, über die sich die Untersuchung erstreckt, bzw. des Tribus oder der Gattung, der sie angehört. Auch die systematische Stellung der Art vermag gelegentlich auf deren Ursprung und Einwanderungsgeschichte Licht zu verbreiten. Bei fossilen und subfossilen Funden ist das geologische Alter der Schicht mit der nötigen Vorsicht festzustellen. Gerade in dieser Hinsicht ist öfters ohne genügende Kritik vorgegangen und daher sind wiederholt verschiedenalterige Schichten identifiziert worden. Und endlich lege man einem einzelnen Aufschluß nicht zu viel Gewicht bei; er kann möglicherweise seinen spezifischen Charakter ganz lokalen Verhältnissen verdanken, so daß eine Verallgemeinerung nicht gerechtfertigt wäre.

Von absoluter Beweiskraft sind die sicher erkannten, in der Erde liegenden Überbleibsel früherer Zeiten. Leider aber sind dieselben verhältnismäßig spärlich; dies gilt ganz besonders, wegen ihrer Zartheit und raschen Vergänglichkeit, für den systematisch wichtigsten Teil, die Blüte.

In Norddeutschland, Dänemark, Großbritannien und ganz besonders in Skandinavien sind seit nunmehr 40 Jahren eine große Zahl interglazialer und postglazialer Lagerstätten mit Pflanzenresten ausgebeutet worden.[219]) Auch das übrige Europa hat zahlreiche glaziale Aufschlüsse geliefert, doch ist die Aufeinanderfolge der verschiedenen Florenbestandteile nicht so klar, wie im nördlichen Teil des Kontinentes.

Als ergiebige Fundstellen erwiesen sich Süßwassermergel, Kalktuffe, Torfmoore, Schieferkohlen, feine Sand- und Lehmschichten. Die Blattreste, Holzstücke, Stengelteile, Früchte usw. der rezenten Fundstätten sind öfters so gut erhalten, als ob sie erst vor kurzem abgefallen und eingebettet worden wären. Beim Trocknen schrumpfen sie aber rasch bis zur Unkenntlichkeit zusammen. Nur ausnahmsweise gelingt es der Präparation, die wertvollen Objekte dauernd in einem befriedigenden Zustande zu erhalten.

Um die Erforschung der Glazialflora und um die Erkenntnis ihrer allmählichen Umänderung bis in die Anfänge der historischen Zeit hinein haben sich hauptsächlich nordische Forscher bemüht. Als der eigentliche Begründer dieser Richtung gilt *Nathorst*, er fand in *A. Blytt*, *Gunnar Andersson*, *Fischer-Benzon*, *C. A. Weber*, *R. Sernander* und in anderen Autoren eifrige und erfolgreiche Mitarbeiter. In der Schweiz hat *O. Heer* als Pionier gewirkt, ihm verdanken wir auch die ersten bahnbrechenden Arbeiten über den Schatz an Kulturpflanzen und die Wildflora der Pfahlbauzeit. Mit *Nathorst* hat *C. Schröter* bei Schwerzenbach im Glattal die erste schweizerische Fundstätte von Glazialpflanzen ausgebeutet. Auf die

Arbeiten von *E. Neuweiler* und auf diejenigen von *H. Brockmann-Jerosch*, dessen Auffassung allerdings in manchen Hauptpunkten von der zurzeit herrschenden Anschauung wesentlich abweicht, haben wir schon an anderer Stelle hingewiesen.

Für Nordeuropa, speziell Südschweden, ist durch zahlreiche Fundstellen folgende postglaziale Besiedlungsgeschichte festgestellt worden.

1. Dryasperiode. Sie folgte in spätglazialer Zeit unmittelbar dem Rückzug der Gletscher und nahm von dem freigewordenen Land Besitz. Die Flora trägt durchaus arktisches Gepräge. Leitpflanzen sind eine Reihe von Arten, die uns als Bestandteile der arktischen Zwergstrauchheide, der Fjeldformation oder der Schneetälchenflora bekannt sind, nämlich in erster Linie die Silberwurz *(Dryas octopetala L.)*, die in diesen Ablagerungen kaum je fehlt, alsdann eine Reihe von Gletscherweiden: die Polarweide *(Salix polaris L.)*, die Krautweide *(Salix herbacea L.)*, die Netzweide *(S. reticulata L.)*, auch einige größere Weiden, wie *S. lanata L.* und *S. glauca L.* finden sich hin und wieder. Etwas später stellte sich auch die Zwergbirke *(Betula nana L.)* ein. Nicht in allen Schichten nachgewiesen, aber doch offenbar ziemlich verbreitet, sind *Empetrum nigrum L., Vaccinium uliginosum L., Oxyria digyna (L.) Hill, Loiseleuria procumbens (L.) Desv., Diapensia lapponica L., Polygonum viviparum L., Saxifraga oppositifolia L.* etc. Ganz besonders muß aber betont werden, daß in diesem Horizont keinerlei Baumreste, ja nicht einmal Pollen von Bäumen angetroffen worden sind. Man muß demnach annehmen, daß Wald in nächster Nähe nicht vorhanden war. Für die Waldlosigkeit spricht auch das häufige Vorkommen von Renntierresten.

2. Espen- und Birkenperiode. Die ersten Bäume, die sich einstellten, waren Espe *(Populus tremula L.)* und nordische Birke *(Betula pubescens Ehrh. = B. odorata Bechst.)*. Da beide Arten auch heute noch in den insularen Gebieten bis an die arktische Wald- und Baumgrenze vordringen, dürfen wir annehmen, daß diese subarktische Zeit einer feuchten Klimaperiode entsprach. Viele der vorher genannten Pflanzen gehören auch noch dieser Zeit an, daneben stellen sich jedoch neue Arten ein: hochwüchsige Weiden, die Eberesche *(Sorbus aucuparia L.)* usw.

3. Kieferperiode, gekennzeichnet durch das Auftreten der Waldföhre *(Pinus silvestris L.)*. Die Stämme sind meistens in Torf eingebettet, sie haben wohl einst auf Torfboden gestanden und sind mit zunehmendem Gewicht eingebrochen. Da die Kiefer in Dänemark offenbar schon früher vorhanden war, dürfte sie von dort in Begleitung vieler Sträucher und Stauden nach Skandinavien eingewandert sein. *Empetrum* wird noch ziemlich reichlich angetroffen, doch hat sie, wie *Drude* hervorhebt, in Mitteleuropa später mit eindringenden Steppenpflanzen zu kämpfen. In dieser Schicht findet man in Dänemark die ersten Steinwerkzeuge.

4. Eichenperiode, damit bekommt die ganze Flora einen südlicheren Anstrich, denn mit der Eiche stellten sich eine ganze Reihe wärmebedürftigerer Laubbäume ein, so besonders die Hasel *(Corylus Avellana L.)*.

welche, wie die schönen Untersuchungen von *G. Andersson* lehren, zeitweise in Skandinavien bedeutend weiter nach Norden vordrang, als dies jetzt der Fall ist. An mehreren Profilen konnte nachgewiesen werden, wie die Kiefer von den neuen Eindringlingen allmählich zurückgedrängt wurde.

5. Die Fichtenperiode. Die Fichte *(Picea excelsa Link)* ist offenbar von Südosten eingewandert, daher kam sie verhältnismäßig spät nach Skandinavien, später als nach Mitteleuropa, wo sie unmittelbar der Kiefer folgte.

6. Die Buchenperiode. Entsprechend ihrer größeren Frostempfindlichkeit dringt jedoch die Buche, ähnlich der Eiche, nicht so weit nach Norden als die übrigen Holzarten. Das Klima dieser subatlantischen Periode war wieder feuchter. In dieser Schicht wurden in Norwegen die ersten Steinwerkzeuge gefunden. Da die Buche schon im Tertiär in Mitteleuropa vorhanden war, ist sie wohl zur Eiszeit nach SW. zurückgedrängt worden. Von diesem Refugium aus, wo sie auch jetzt ihr Massenzentrum hat, ist sie nachträglich wieder allmählich nach Zentral- und Osteuropa eingewandert, doch fehlt sie schon dem nordöstlichen Deutschland und berührt nur noch in Polen und Schlesien russisches Gebiet.

Zwischen Buche und Fichte herrscht ein lebhafter Wettbewerb. Für Süddeutschland gibt *R. Gradmann* eine anschauliche Schilderung des Kampfes dieser beiden Baumtypen um die Vorherrschaft [220]): „In einer Zeit, da der Urwald noch nicht durch mächtige Rodungen unterbrochen und zerstückelt war, muß zwischen Fichte und Buche, die vermöge ihres geringen Lichtbedürfnisses allen anderen Baumarten im Kampf um den Standort überlegen sind, ein unaufhörlicher Grenzstreit getobt haben. Fassen wir die gegenwärtigen Verbreitungsverhältnisse innerhalb Süddeutschlands als Ergebnis dieses Kampfes auf, so lassen sie sich auf folgende Regeln zurückführen:

In der Tiefenregion bis zu 400 *m* aufwärts ist die Buche unbedingt und auf allen Bodenarten der Fichte überlegen. Daher ist in dieser Region die Fichte nirgends einheimisch, trotzdem sie sich in der Kultur lebenskräftig erweist.

Auf der oberen Stufe der Bergregion, ungefähr von 1000 *m* an, ist umgekehrt die Fichte unbedingt und auf allen Bodenarten überlegen; sie herrscht in dieser Höhe auch im Jura und in den Kalkalpen. Die untere Bergregion zwischen 400—1000 *m* ist der eigentliche Schauplatz des Kampfes. Für dessen Entscheidung gibt einerseits die Bodenbeschaffenheit, andrerseits die Nachbarschaft ausgedehnter Nadelholzgebiete den Ausschlag. In erster Linie erlangt die Fichte auf Sand und sandigem Lehm ein entschiedenes Übergewicht, auf jedem Kalkboden kann dagegen die Buche das Feld behaupten, wenn sie nicht unter dem Einfluß der starken Expansionsfähigkeit des Nadelwaldes (infolge reichlicher und regelmäßiger Samenerzeugung) so zurückgedrängt wird, daß sie sich nur auf dem trockenen Kalkboden zu halten vermag. Diese Verhältnisse erklären uns, wie die Buche im Gebiet der schwäbischen Alb in den Ruf kommen konnte, kalkhold oder xerophil zu sein, trotzdem sie tatsächlich weder das eine noch das andere ist, vielmehr auf kalkarmen Lehmböden und in feuchtem Klima

ihr treffliches Fortkommen findet und alle Wälder beherrscht. sobald sie nur von der gefährlichen Konkurrenz ihrer Nebenbuhlerin befreit ist.

In der Gegenwart sind die Torfmoore im Rückgang begriffen. Auch da, wo nicht durch wirtschaftliche Verhältnisse die Moore durch Entwässerung und andere Ameliorationsarbeiten der Kultur unterworfen werden, beobachtet man vielfach ein Austrocknen derselben und ihre Verdrängung durch Heide oder Wald.

Zum Schluß soll endlich noch an Hand weniger Beispiele gezeigt werden, wie unter Berücksichtigung der verwandtschaftlichen Beziehungen der Arten die genaue Kenntnis der jetzigen Verbreitungsverhältnisse öfter Rückschlüsse auf die Florengeschichte gestattet.

In diesem Zusammenhang komme ich nochmals auf die Arve *(Pinus Cembra L.)* zu sprechen. Meine Studie über die Arve in der Schweiz hat nicht nur in den nördlichen Kalkalpen. sondern auch in einem Teil der Zentralalpen ein außerordentlich zerstückeltes Verbreitungsareal festgestellt. Aber fast überall war es auch möglich. durch subfossile Funde in Torfmooren oder durch alte Urkunden nachzuweisen, daß das Areal einst viel geschlossener war als heuzutage. Bisher war man nun stets geneigt anzunehmen. daß Pinus Cembra L. zur Glazialzeit von ihrer nordischen Heimat aus über Mittel- und Süddeutschland nach dem schweizerischen Molasseland und ins Alpengebiet eingewandert. und daß nach Schluß der Eiszeit das annähernd zusammenhängende Areal infolge des der Arve immer weniger zusagenden Klimas mehr und mehr zerstückelt worden sei. Diese Auffassung muß heute als irrig zurückgewiesen werden. Zunächst ist darauf hinzuweisen. daß trotz der eingehenden monographischen Bearbeitung der Torfmoore durch *J. Früh*, *C. Schröter* und *E. Neuweiler* etc., bisher im schweizerischen Mittelland noch kein einziger fossiler oder auch nur subfossiler Arvenfund gemacht worden ist. Es ist kaum anzunehmen. daß spätere Forschungen zu einen anderen Ergebnis führen werden. Dieses negative Resultat läßt nur zwei Erklärungen zu: entweder muß die Verbindung des nordischen und alpinen Arvenareals in eine viel frühere Zeit zurückverlegt werden oder diese Verbindung hat nur im ostalpinen Gebiet stattgefunden und die Arve ist von den Ostalpen aus. längs und im Alpenzug nach Westen und Südwesten vorgedrungen. sie hat mit anderen Worten das schweizerische Mittelland nie bewohnt. Die Tatsache. daß sich die alpine von der nordischen Arve durch eine ganze Reihe, allerdings vorzugsweise biologischer Merkmale unterscheidet. läßt die Annahme gerechtfertigt erscheinen. daß die Einwanderung von *Pinus Cembra L.* aus ihrer nordischen Heimat ins Alpengebiet jedenfalls schon in den früheren Abschnitten der Glazialperiode erfolgt ist; die heutigen Verbreitungstatsachen legen ferner nahe. sich diese Einwanderung als von Osten über Waldaihöhe, Karpathen und Ostalpen und nicht vom Norden über die mitteldeutsche Gebirgsschwelle erfolgt, zu denken.

Auf Grund sorgfältiger pflanzengeographischer und systematischer Studien über die Beteiligung des mediterranen Florenelementes am Aufbau des Pflanzenkleides der Schweiz kam *H. Christ*[221] 1896 neben der schon früher vorgenommenen Ausscheidung des spezifisch endemischen Elementes der Mittelmeerflora und einiger Gruppen von Mittelmeergewächsen ursprünglich fremder Herkunft (östliche Steppenpflanzen, südliche Gebirgspflanzen) zur Aufstellung eines neuen, von ihm als altafrikanischer Bestandteil unserer Flora bezeichneten Elementes, einer Gürtelflora xerophilen, nicht tropischen Charakters, die einst rings um Afrika verbreitet war, aber auch tief in den Kontinent und auf die Inseln übergriff. Diese Flora ist eine Einheit, und diese Einheit wird nicht nur durch den Habitus und ihre biologische Eigentümlichkeiten, sondern auch durch die systematische Verwandtschaft bezeugt. Diese Flora hat ihr heutiges Zentrum in Südafrika. Sie hat sich überall da noch zu halten vermocht, wo der xerophile Charakter des Landes sich gleich geblieben ist, während sie da, wo die Wüste eindrang oder wo feuchte Länderstriche die äquatoriale Waldflora ermöglichten, durch andere Florenbestandteile unterbrochen worden ist. Spuren dieser Flora lassen sich nicht nur durch das ganze Mittelmeerbecken, sondern selbst noch bis ins nördliche Mitteleuropa verfolgen.

Ein berühmtes Beispiel, auf das schon von *A. Engler* (Berlin) hingewiesen wurde, ist die gemeine Alpenheide *(Erica carnea L.)*. Sie entstammt einer Sektion der Gattung Erica, von welcher ungefähr 50 Arten im Kapland wachsen, während die *Erica carnea* deren einziges, nicht afrikanisches Glied ist. Aber nicht nur in der systematischen Verwandtschaft, auch biologisch ist diese Heide bei uns ein Fremdling: sie ist, wie *Christ* hervorhebt, ein Winterblütler: die Blüten sind schon im Herbst nicht nur vorgebildet, wie bei so vielen Alpenpflanzen, sondern bereits völlig entwickelt und brauchen nur die ersten Sonnenstrahlen am Ende des Winters, um in ihrer vollen purpurnen Pracht ganze Abhänge zu bedecken. Dies geschieht in günstigen Lagen und Jahren oft schon im Januar. Auch am Tafelberg Kaplands wachsen die nächstverwandten Eriken ebenfalls in der schwarzen Erde der Felsritzen, die, von der Wolkendecke befeuchtet, das Plateau des Berges beschatten.

Dieselbe Bedeutung hat auch *Polygala Chamaebuxus L.* Sie gehört einem ganz anderen Typus an als alle anderen Polygala Europas und erst in Nordafrika finden wir Arten aus derselben Gruppe, zunächst in Algerien und Marokko *(P. Munbyana Boiss.* und *P. Balansae Coss.)*. Es sind großblütige, immergrüne, lederblättrige Sträucher, zum Teil mit Hinneigung zur Cladodienbildung oder zur Blattlosigkeit. Auch sie ist ein Winterblütler, ähnlich der Erica, zu deren Vergesellschaftung sie gehört, so daß in den Voralpen selten die eine ohne die andere angetroffen wird. Auch die bei uns vorkommenden Genera *Gladiolus, Anthericum, Lotus* neigen zur afrikanischen Flora. Aber auch die Stechpalme *(Ilex aquifolium L.)* gehört zu derselben räumlichen Verwandtschaft. Unser Ilex spielt mit seinem breiten immergrünen Blatt in unserer Flora eine ganz isolierte Rolle: er ist ferner eine

Pflanze des milden atlantischen Westens: die nächsten Ilex sind drei mächtige Bäume der westafrikanischen Archipele. *Ilex capensis* kommt ihnen bis Westafrika entgegen. Unser Epheu, der als einziger immergrüner Wurzelkletterer unserer Zone und als baumartige Araliacae uns so fremdartig anmutet, dürfte nach *Christ* dagegen wohl ostasiatischen Ursprungs sein. Die *Danthonia provincialis DC.* des Mte. S. Giorgio, die einzige europäische Art dieses Genus (neben der allerdings nahverwandten *Triodia decumbens P. B.*), gehört ebenfalls einer vorwiegend südafrikanischen Gattung von etwa 100 Arten an. Diese Liste ließe sich noch bedeutend vermehren; auch die Gattungen *Asparagus, Oxalis, Tamus* weisen auf diesen Ursprung hin.

Nach ähnlichen Prinzipien behandelt *Joh. Nevole*[222]) die Verbreitung einiger südeuropäischen Pflanzenarten: *Narcissus poeticus L.*, der zahmen Kastanie, von *Dracocephalum austriacum L.*, *Erythronium Dens canis L.*, *Ruscus hypoglossum L.*, *Cyclamen europaeum L.* Auf Grund von deren Gesamtverbreitung und deren verwandtschaftlichen Beziehungen kommt Nevole zum Ergebnis, daß diese Arten alte tertiäre Typen sind, die zur Tertiärzeit weit verbreitet waren; besonders besaßen sie damals im Alpengebiet und zum Teil auch in Mitteleuropa ein viel geschlosseneres Areal als dies heutzutage der Fall ist.

Bei einigen dieser Typen konnte nachgewiesen werden, daß sie in der Postglazialzeit wieder an Boden gewonnen haben, so z. B. die Narzisse in Frankreich und Südostengland. Die inselartigen alpinen Reliktenstationen weisen auch auf eine postglaziale wärmere Periode hin. Ein ähnliches Verhalten zeigt *Castanea sativa Miller*. *Dracocephalum* ist dagegen eine tertiäre xerotherme Steppenpflanze. Sie wurde in ihrem einstigen Gesamtareal nur an einigen Stellen völlig vernichtet, an manchen Orten durch die Eiszeit offenbar gar nicht berührt; auch *Erythronium* hat durch die Glazialperiode offenbar in ihrer Arealumgrenzung nur unbedeutende Änderungen erfahren. Die jetzigen Standorte sind teils ursprünglich, d. h. vorglazial, teils interglaziale Eroberungen. Bei *Cyclamen* wurde das Gesamtareal an der Nordgrenze und mehrfach auch in den Alpen gestört: eine erneute postglaziale Ausbreitung dieser Art konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

Wir sind am Schlusse unserer Betrachtung. Die Pflanzengeographie hat in dem hinter uns liegenden Säkulum sich aus bescheidenen Anfängen einer ursprünglich rein deskriptiven und registrierenden botanischen Zweigdisziplin zu einem gut fundamentierten und aufgebauten Lehrgebäude entwickelt. Durch sie sind nicht nur viele kausale Zusammenhänge zwischen der Pflanzenwelt und dem von ihr besiedelten Wohngebiet klargelegt worden, sie verschafft auch einen Einblick in die äußerst verwickelten, wechselvollen, sich gegenseitig bald unterstützenden, bald mehr oder weniger aufhebenden Beziehungen der exogenen und endogenen Faktoren, welche in ihrer Gesamtheit die Verbreitung der einzelnen Arten in allererster Linie bestimmen.

Aber damit hat sich die Pflanzengeographie nicht begnügt. Mehr und mehr hat sich die Anschauung Bahn gebrochen, daß ein richtiges Verständnis des heutigen Pflanzenkleides der Erde nur bei einer historischen Betrachtung der Dinge möglich ist, daß in der Vergangenheit der Schlüssel für viele Probleme, die sich uns aufdrängen, zu suchen ist. Die bisher in dieser Hinsicht gewonnenen Resultate, so dürftig sie auch noch sein mögen, haben doch bereits auf die Pflanzenwelt längst vergangener Zeiten ein ungeahntes Licht verbreitet: die Vegetation der Erde zu den verschiedenen Erdepochen ist wenigstens in den Hauptzügen bekannt, auch für die Phyllogenie der einzelnen Stämme des Pflanzenreiches haben diese Forschungen wichtige Ergebnisse gezeitigt. In den älteren Erdzeiten ist der Zusammenhang der Erscheinungen noch vielfach rätselhaft geblieben, dagegen ist man über Arealverschiebungen und Wanderungen der Flora seit dem Ausgang der Tertiärzeit besser unterrichtet, obwohl auch hier die Anschauungen der verschiedenen Autoren öfters noch in Widerstreit stehen. Immerhin sind die Ziele überall vorgesetzt, die Fragestellung präziser, die Methoden der Forschung verbessert und die Arbeit eine viel intensivere und vor allem zielbewußtere geworden.

Literaturnachweis.

[1]) *C. Schröter*, Die Erforscher der Zürcherflora. I. Bericht X (1905—07) der zürch. bot. Gesellsch., S. 84/85. — *Ferd. Rudio*, Die naturforschende Gesellsch. in Zürich (1746—1896), Festschrift, Bd. 41 der Vierteljahrsschrift Zürch. naturf. Gesellsch. (1896), S. 195.

[2]) *J. Lange*, Aperçu de la flore groenlandaise in „Conspectus Florae Groenlandicae" in Meddelelser om Grönland. Tredie Hefte (1890), S. 215/216.

[3]) — l. c. S. 87. — Auch das Indigenat von Calluna im benachbarten N.-Amerika wird sehr bezweifelt. Nach *Lawson*, *Th. Mechan*, *O. R. Willis*, *W. P. Riech* usw. findet sie sich zwar in Neu-Schottland, Maine, Massachusetts, N.-Jersey; doch da kein Ort weit von menschlichen Niederlassungen entfernt ist, dürfte sie wohl nirgends urwüchsig sein.

[4]) *A. Engler*, Die Entwicklung der Pflanzengeographie in den letzten hundert Jahren. *Humboldt*, Centenarschrift (1899), 247 S.

[5]) — l. c. S. 7.

[6]) *v. Richthofen*, Vorbemerkung zur *Humboldt*-Centenarschrift, S. 1.

[7]) *Hugo Bretzl*, Botanische Forschungen des Alexanderzuges. B. G. Teubner (1903), 412 S.

[8]) *C. Hartwich*, Die menschlichen Genußmittel (1911), S. 308/310.

[9]) *C. Hartwich*, l. c. S. 428.

[10]) l. c. S. 5.

[11]) Bei *Otto Gmelin*, Verlag in München, 1911.

[12]) *L. Diels*, Pflanzengeographie. G. J. Göschen (1908), S. 5.

[13]) *J. Sachs*, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie (1887). W. Engelmann, S. 613.

[14]) *A. Molisch*, Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen. G. Fischer, Jena (1897), 73 S. und 11 Holzschnitte, S. 56 und S. 61/62.

[15]) *J. Hann*, Handbuch der Klimatologie, ed. II (1897), S. 220.

[16]) *F. W. Schimper*, Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. G. Fischer, Jena (1898), S. 43.

[17]) *R. Pictet*, Archives des sc. phys. et nat. de Genève (1893), III sér., t. 30, p. 311.

[18]) *W. Th. Thiseltow-Dyer* in Proceed. of the Royal Soc. (1899), vol. 65, p. 362.

[19]) *C. de Candolle*, Archives des sc. phys. et nat. de Genève (1895), III sér., t. 33, pag. 504, siehe auch in *W. Pfeffer*, Pflanzenphysiologie, Bd. II unter „Gefrieren und Erfrieren", S. 297—309 (1901).

[20]) *C. Schröter*, Pflanzenleben der Alpen. A. Raustein, Zürich 1908, S. 632.

[21]) *Ed. Rübel*, Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. W. Engelmann, Leipzig 1911.

[22]) *H. Hoffmann*, Über thermische Vegetationskonstanten. Abhandlungen der *Senckenberg*'schen Gesellsch. 1872. Frankfurt a. M. (1873), S. 379ff. — Über thermische Konstanten und Akkommodationen. Verh. d. zool.-bot. Gesellsch. Wien 1875, S. 564. — Zur Lehre von den thermischen Konstanten der Vegetation. Bot. Zeitg. Leipzig (1880), S. 465ff.

[23]) *M. Rikli*, Botanische Reisestudien auf einer Frühlingsfahrt durch Korsika. Zürich, Fäsi und Beer (1903), S. 104.

[24]) *J. Sachs* und *F. W. Schimper*, l. c.

[25]) *Fr. Ludwig*, Lehrbuch der Biologie der Pflanzen. Ferd. Enke, Stuttgart (1895), S. 156.

[26]) *Cieslar*, Über die Erblichkeit des Zuwachsvermögens bei den Waldbäumen. Zentralblatt für das gesamte Forstwesen (1895), S. 7. — Neueres aus dem Gebiet der forstlichen Zuchtwahl, ebenda (1899), S. 49.

[27]) *A. Engler*, Einfluß der Provenienz des Samens auf die Eigenschaften der forstlichen Holzgewächse. Mitt. der schweiz. Zentralanstalt für forstl. Versuchswesen. Bd. VIII (1905), 236 S.

[28]) *Fr. Krasan*, Über den kombinierten Einfluß der Wärme und des Lichtes auf die Dauer der jährlichen Periode der Pflanzen, ein Beitrag zur Nachweisung der ursprünglichen Heimat der Arten. *Englers* bot. Jahrb., III (1882), S. 111/112.

[29]) *J. Hann*, Handbuch der Klimatologie ed. II, Bd. III (1897).

[30]) *J. Maurer*, *Rob. Billwiller* jun. und *Clem. Heß*, Das Klima der Schweiz. Huber & Cie., Frauenfeld (1910), Bd. II, S. 216.

[31]) *J. Hann*, l. c. Bd. III, S. 119 u. S. 146/147.

[32]) *Gunnar Andersson*, Zur Pflanzengeographie der Arktis. *Hettners* geogr. Zeitschrift, Bd. VIII (1902), S. 1—23.

[33]) *P. Graebner*, Lehrbuch der allgemeinen Pflanzengeographie (1910), S. 173.

[33a]) *H. Graf zu Solms-Laubach*, Die leitenden Gesichtspunkte einer allgemeinen Pflanzengeographie (1905), S. 133.

[34]) *N. Wille*, Mitteilungen über einige von *C. E. Borchgrevink* auf dem antarktischen Festlande gesammelten Pflanzen. Nyt. Mag. f. Naturvidenskab., Bd. 40 (1902), 203 ff.

[35]) *C. E. Borchgrevink*, First of the Antarctic Continent being an Account of the British Antarctic Expedition 1898—1900. London 1901.

[36]) *E. H. Shackleton*, Einundzwanzig Meilen vom Südpol (1909), Bd. I, S. 285.

[37]) l. c. Bd. II, S. 94.

[38]) l. c. S. 43.

[39]) l. c. S. 3.

[40]) l. c. S. 34.

[41]) *M. Rikli*, Die Pflanzenwelt des hohen Nordens in ihren Beziehungen zu Klima und Bodenbeschaffenheit. Jahrbuch der st. gallischen naturwiss. Gesellsch., 1902/03 (1903).

[42]) *Theob. Fischer*, Studien über das Klima der Mittelmeerländer. *Petermanns* Mitteil., Ergänzungsheft 58 (1879), S. 50—57.

[43]) l. c. p. 11.

[44]) *M. Rikli* (1903), S. 25.

[45]) *C. Schröter*, Die Palme und ihre Bedeutung für den Tropenbewohner. Neujahrsblatt d. Naturforsch. Gesellsch. in Zürich auf das Jahr 1901.

[46]) *F. W. Schimper*, l. c. S. 6—19; *L. Diels*, l. c. S. 45–48; *G. Volkens*, Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. Berlin (1887).

[47]) *G. Volkens*, Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. Berlin (1887).

[47a]) l. c. S. 34.

[48]) *M. Rikli*, Botanische Reisestudien von der spanischen Mittelmeerküste mit besonderer Berücksichtigung der Litoralsteppe. Zürich, Fäsi & Beer (1907).

[49]) *Ch. Flahault*, Rapport sur les herborisations de la soc. bot. de France en Oranie. Bull. soc. bot. de France, Session extraord. en Oranie, avril 1906, p. CXLIX—CLIV.

[50]) *H. Christ*, Das Pflanzenleben der Schweiz., ed. II (1882), S. 86ff.

[51]) *O. Nägeli* und *M. Rikli*, Exkursion der zürch. bot. Gesellsch. nach Marthalen, dem Hausersee u. Andelfingen, 12. Juni 1904. — Bericht X der zürch. bot. Gesellsch. (1905).

[52]) *M. Rikli*, Das Lägerngebiet. phytogeographische Studie mit Ausblicken auf die Bewirtschaftungsgeschichte. Berichte d. schweiz. bot. Gesellsch., Heft XVII (1907), Sep. S. 31—36.

[53]) *F. G. Stebler*, Alpen- und Weidewirtschaft. P. Parey, Berlin (1903), S. 16.

[54]) Im Jahrb. der st. gallischen naturw. Gesellsch. (1901).

[55]) *M. Rikli*, Beiträge zur Kenntnis von Natur- und Pflanzenwelt Grönlands. Actes de la soc. helvétique des sc. nat; 92 session (1909), Lausanne, t. I, p. 164, Fußnote.

[56]) *C. Schröter* und *M. Rikli*, Botanische Exkursionen im Bedretto-, Formazza- und Boscotal. Acti della soc. Elvetica di sc. naturali, Locarno 1903, 3. Sept., S. 51 ff.

[57]) *M. Rikli*, Die Flora des Kt. Zürich im geogr. Lexikon der Schweiz. Bd. VI (1910), S. 754.

[58]) *H. Christ*, l. c. S. 39.

[59]) *G. Hegi*, Beiträge zur Pflanzengeographie der bayrischen Alpenflora. Sep. aus Bd. X, Berichte d. bayr. bot. Gesellsch. (1905), S. 124ff.

[60]) *A. K. Cajander* und *R. P. Poppus*, Eine naturwissenschaftliche Reise ins Lenatal. Fennia 19, 2 (1903).

[61]) *M. Kronfeld*, Bilderatlas zur Pflanzengeographie (1899), S. 45.

[62]) *M. P. Porsild*, Bidrag til en Skildring of Vegetationen paa Oen Disco. mit franz. Resumé. Meddelelser om Grönl. Hefte 25 (1908), S. 94/95.

[63]) *A. F. W. Schimper*, Indomalaiische Strandflora. Jena 1891, S. 152ff.

[64]) *W. B. Hemsley*, On the dispersal of plants by oceanic currents and birds. Rep. on the sc. results of the voyage of H. M. Challenger during the Years 1873—76. Botany, vol I, Appendix.

[65]) *M. Treub*, Notice sur la nouvelle flore de Krakatau. — Annales du Jardin bot. de Buitenzorg, t. VII (1888), p. 213—223.

[66]) *M. B. Guppy*, The dispersal of plants as illustrated by the flora of the Keeling or Cocos Islands. Transact. of the Vicoria Institute 1890.

[67]) *M. Treub*, l. c.

[68]) *O. Penzig*, Die Fortschritte der Flora des Krakatau. Annales du Jardin Bot. de Buitenzorg, 2. Série, vol. III (1902), p. 92/93.

[69]) *A. Ernst*, Die Besiedelung vulkanischen Bodens auf Java und Sumatra in *G. Karsten* und *H. Schenck*, „Vegetationsbilder", Reihe VII, Heft 1/2 (1909), Text zu Tafeln 11/12.

[70]) *M. Rikli*, Vegetationsbilder aus Dänisch-Westgrönland. — *G. Karsten* und *H. Schenck*, Vegetationsbilder, Reihe VII, Heft 8 (1910), Text zu Tab. 44.

[71]) *M. Rikli*, l. c. (1907), S. 11.

[72]) *Vöchting*, Über den Einfluß des Lichtes auf die Gestaltung und Anlage der Blüten. Jahrb. f. wiss. Bot., XXV (1893).

[73]) *G. Klebs*, Die Bedingungen der Fortpflanzung bei einigen Algen und Pilzen. Jena, G. Fischer (1896), S. 18—39 und S. 96—110 usw.

[74]) *Andersson G.* och *H. Hesselmann*, Beiträge zur Kenntnis der Gefäßpflanzenflora von Spitzbergen und Bären-Eiland, auf die Beobachtungen der schwedischen Polarexpedition im Jahre 1898 gegründet (schwed.). K. Svenska Vet. Akad. Handl. Bih., Bd. 26, Afd. III, N. 1 (1901).

[75]) *J. Maurer* etc., Bd. I (1909), S. 91—94 und S. 208.

[76]) *L. Weber*, Resultate der Tageslichtmessungen in Kiel 1890—92. Schriften d. naturwissensch. Vereins für Schleswig-Holstein, Bd. X (1893).

[77]) *E. Rübel*, Untersuchungen über das photochemische Klima des Berninahospizes. Vierteljahrsschrift d. naturf. Gesellsch. in Zürich, Bd. 53 (1908), S. 207—280.

[78]) — l. c. S. 219—230.

[79]) — Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. Leipzig, W. Engelmann, 1911.

[80]) *K. J. V. Steenstrup*, Om Bestemmelsen af Lysstyrken og Lysmaengden; Meddelelser om Grönl. 25 Hefte (1902), S. 1—11, mit 4 Textfig.

[80a]) *Morten P. Porsild*, Actinometrical observations from Greenland. Meddelelser om Grönland. Bd. XLVII (1911), pag. 359—374.

[81]) *J. Wiesner*, Untersuchungen über das photochemische Klima im arktischen Gebiete. Denkschriften d. kaiserl. Akad. d. Wissenschaften in Wien, Bd. 44 (1896).

[82]) *E. Rübel* (1908), l. c. S. 276/277.

[83]) — Beiträge zur Kenntnis des photochemischen Klimas der Cauaren und des Ozeans. Vierteljahrsschr. d. Naturf.-Gesellsch. Zürich, Bd. 54 (1909), S. 289—308.

[84]) — Beiträge zur Kenntnis des photochemischen Klimas von Algerien. Ebenda, Bd. 55 (1910), S. 91—102.

[85]) *Th. Fischer* (1879), l. c. S. 39.

[86]) *H. Christ* (1882), l. c. S. 123.

[87]) *J. Hann*, Bd. 1, ed 2 (1897), S. 344.

[88]) *O. Kihlman*, Pflanzengeographische Studien aus Russisch-Lappland. Acta Soc. pro Fauna et Flora Fennica, T. VI, Nr. 3 (1890), S. 79.

[89]) *K. Roder*, Die polare Waldgrenze. Diss., Leipzig 1895.

[90]) Bd. IV, t. 1, S. 683 (1867).

[91]) *J. Früh*, Die Abbildung der vorherrschenden Winde durch die Pflanzenwelt. Mit 1 Taf. und 2 Textfig. Jahresb. d. geogr.-ethnogr. Gesellschaft Zürich für das Jahr 1901/02 (1902), S. 57—153.

[92]) *M. Rikli* (1903), S. 73/74 und Fig. 11, 21 und 22.

[93]) *Puenzieux*, Contribution à l'étude du reboisement de la plaine du Rhône. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, Jahrg. 1897, S. 5—8, 58—61 und 101—105.

[94]) *A. Günthart* in *C. Schröter*, Pflanzenleben der Alpen (1908), S. 694—697.

[95]) *O. Kirchner*, Blumen und Insekten (1911), S. 394.

[96]) *P. Vogler*, Über die Verbreitungsmittel der schweizerischen Alpenpflanzen. „Flora" (1901), Bd. 89, Ergänzungsbd. u. Sep., S. 61 und 64.

[97]) *A. v. Kerner*, Über den Einfluß der Winde auf die Verbreitung der Samen im Hochgebirge. Zeitschr. d. deutsch-österr. Alpenvereines (1871), S. 154 u. ff.

[98]) *C. Schröter* und *M. Rikli*, Botanische Exkursionen im Bedretto-, Formazza- und Boscotal. Atti della società Elvetica di science naturali, Locarno (1903), 86e sessione.

[99]) *K. Koldewey*, Die zweite deutsche Nordpolarfahrt in den Jahren 1869 und 1870, Bd. I. 1 (1879), S. 82.

[100]) *O. Sverdrup*, Neues Land, Bd. II (1903), S. 161.

[101]) *C. Schröter*, Das Pflanzenleben der Alpen. S. 70/71.

[102]) Siehe Note 41.

[103]) Pflanzengeographie, l. c.

[104]) *G. J. Tanfiljew*, Die südrussischen Steppen. Wissenschaftliche Ergebnisse des internationalen botanischen Kongresses, Wien 1905 (1906), S. 381—388.

[105]) l. c. S. 4.

[106]) *W. Pfeffer*, Pflanzenphysiologie, Bd. I (1897), S. 212.

[107]) *J. Sachs*, Das Erfrieren bei Temperaturen über 0°. Bot. Zeitung (1860), S. 123/124.

[108]) *O. Kihlman*, l. c., p. 94 ff.

[109]) *Ed. Straßburger*, Streifzüge an der Riviera ed II (1904), S. 178.

[110]) *Sadebeck*, Über die generationsweise fortgesetzten Aussaaten und Kulturen der Serpentinformen der Farngattung Asplenium. Berichte über die Sitzungen der Gesellschaft für Bot., Hamburg III (1887), S. 4.

[111]) *C. Schröter*, l. c. S. 72/73.

[112]) *Fliche* et *Grandeau,* De l'influence de la composition chimique du sol sur la végetation du châtaignier. Annales de chimie et de physique, 5 sér., t. 2 (1874).

[113]) *Chatin,* Le châtaignier etc. Bull. soc. bot. France, 1870, p. 194.

[114]) *A. Engler* (Zürich), Über Verbreitung, Standortsansprüche und Geschichte der Castanea vesca mit besonderer Berücksichtigung der Schweiz. Berichte d. Schweiz. bot. Gesellschaft (1901), Heft XI, S. 29—35.

[115]) *C. v. Nägeli,* Über die Bedingungen des Vorkommens von Arten und Varietäten. innerhalb ihres Verbreitungsbezirkes. Sitzungsber. d. königl. bayr. Akad. (1865) S. 367.

[116]) *G. Bonnier,* Remarques sur les différences que présente l'Ononis natrix cultivé sur un sol calcaire ou sur un sol sans calcaire. Bull. soc. bot. France, T. 41 (1894), p. 59.

[116a]) Während des Druckes dieser Abhandlung gelangte eine für die Bodenfrage sehr wichtige Arbeit zur Ausgabe, konnte aber leider nicht mehr berücksichtigt werden: *Gr. Kraus,* Boden und Klima auf kleinstem Raum. Versuch einer exakten Behandlung des Standortes auf dem Wellenkalk. G. Fischer, Jena 1911.

[117]) *L. Diels,* Pflanzengeographie (1908), l. c. S. 58.

[118]) *E. Warming,* Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie (1896), S. 332.

[119]) *P. Knuth,* Handbuch der Blütenbiologie, Bd. III.

[120]) *R. Sernander.*

[121]) *L. Marret,* Contribution à l'étude phytogéographique du Massif alpin. Diss., Paris, 26 S. (1909), vorläufige Mitteilung.

[122]) *H. Jaccard,* Catalogue de la flore valaisanne. Nouv. Mémoires de la Soc. helv. des Sc. nat., t. XXXIV (1895).

[123]) *P. Chenevard,* Catalogue des planles vasculaires du Tessin, t. XXI, Mém. de l'Institut National Genèvois (1910).

[124]) Siehe auch: *E. Gräntz,* Auf- und absteigende Pflanzenwanderungen. Bot. Zentralbl. XCVIII, S. 187.

[125]) l. c. siehe Nr. 121.

[126]) *C. Schröter* und *O. Kirchner,* Die Vegetation des Bodensees, II. Teil (1902), S. 58 bis 60, Heft XXXI der Schriften des Ver. f. Geschichte d. Bodensees u. Umgebung.

[127]) *M. Rikli,* Die Arve in der Schweiz. N. Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Gesellsch., Bd. XLIV (1909), S. 341/342, 360/361 und 409.

[128]) *P. E. Müller,* Om Bjergfyrren (Pinus montana Mill.). Tidsskrift for Skovbrug, Bd. VIII, IX, XI und Sep. im Buchhandel. Kopenhagen 1887.

[129]) *St. E. Brunies,* Die Flora des Ofenberggebietes (Südost-Graubünden). Jahresber. der Naturf. Gesellsch. Graubündens, Bd. XLVIII (1906), S. 205—228.

[130]) l. c. siehe Nr. 88.

[131]) *C. Schröter,* Der erste schweizerische Nationalpark Val Cluoza bei Zernez. Heimatschutz Zürich (1910), Heft 3. — *H. Conwentz,* Beiträge zur Naturdenkmalpflege, Heft 1 (1907), 4 (1910); Naturschutzparke in Deutschland und Österreich, ein Mahnwort. Stuttgart, Franksche Verlagshandlung, 1910; Jahresberichte I—V der schweizerischen Naturschutzkommission, Verhandlungen der schweiz. Naturf. Gesellsch., Jahresversammlung 89 (1907)—93 (1910). — *Konr. Günther,* Der Naturschutz. Fr. E. Fehlenfeld, Freiburg i. Br. (1910).

[132]) Die Erlaubnis zur Reproduktion der beiden in der schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen (1897) erschienenen Bilder verdanke ich der Güte von Dr. *F. Fankhauser* in Bern. Ich benutze die Gelegenheit, auch an dieser Stelle auf diese reichhaltige Zeitschrift aufmerksam zu machen.

[133]) *F. R. Kjellmann,* Aus dem Leben der Polarpflanzen. — *Nordenskjöld,* Studien und Forschungen, veranlaßt durch meine Reise im hohen Norden. Leipzig 1885.

[134]) *P. Gräbner,* l. c. (1910), S. 203/204.

[135]) *Hans Fitting,* Die Wasserversorgung und die osmotischen Druckverhältnisse der Wüstenpflanzen. Zeitschr. f. Botanik, Jahrg. III (1911), S. 209—275.

[136]) l. c. S. 46/47.

[137]) l. c. S. 196.

[138]) *C. Raunkiaer,* Statistik der Lebensformen, als Grundlage für die biologische Pflanzen-

geographie. Botanisk Tidskrift (1908), Bd. 29, in deutscher Übersetzung von *G. Tobler*, Beihefte zum bot. Zentralbl., Bd. XXVII, Abt. 2, Heft 1 (1910), S. 171—206.

[139]) *F. Fedde*, Biologische Charakterbilder für die Pflanzengeographie in „Aus der Natur", Jahrg. III (1907/08). Eine freie Wiedergabe der *Raunkiaer*schen Arbeit, die besonders durch ihre reiche illustrative Ausstattung von Wert ist.

[140]) *C. Raunkiaer*, l. c. S. 204.

[141]) *H. Christ*, Aperçu des recents travaux géobotaniques concernant la Suisse. Georg et Cie., Bâle, Genève, Lyon (1907).

[142]) *J. Früh* und *C. Schröter*, Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lief. III (1904), A. Francke, Bern, 4°, 751 S., 4 Tab und 1 Karte.

[143]) *A. Engler*, Notizblatt des k. bot. Gartens u. Museums zu Berlin. Appendix, VII (1901).

[144]) W. Engelmann, Leipzig (1903).

[145]) *C. Schröter* und *O. Kirchner*, Die Vegetation des Bodensees, l. c. s. Nr. [126]).

[146]) *G. Hegi*, Das obere Tößtal und die angrenzenden Gebiete, floristisch und pflanzengeographisch dargestellt. Bull. herb. Boiss (1902).
C. Schröter, Das St. Antöniertal im Prättigau. Landwirtsch. Jahrb., IX. (1895).

[147]) *E. Geiger*, Das Bergell. Forstbot. Monographie. Jahrb. d. naturforsch. Gesellsch. Graubündens, Bd. 45 (1901). — *A. Grisch*, Beitrag zur Kenntnis der pflanzengeographischen Verhältnisse der Bergünerstöcke. Diss., Univ. Zürich (1907). — *St. Brunies*, Die Flora des Ofengebietes. Jahresb. d. naturforsch. Gesellsch. Graubündens, XLVIII (1906). — *H. Brockmann-Jerosch*, Die Flora des Puschlav. und ihre Pflanzengesellschaften. W. Engelmann, Leipzig (1907). — *Ed. Rübel*, l. c. (1911). — Ferner *E. Steiger*, Beiträge zur Kenntnis der Flora des Adulagebirgsgruppe. Verh. d. naturf. Gesellsch. Basel, XVIII (1906) und *J. Coaz* und *C. Schröter*, Ein Besuch im Skarltal. Stämpfli & Cie., Bern (1905).

[148]) *G. Baumgartner*, Das Kurfirstengebiet (1901). Bericht über d. Tätigkeit der St. gallischen naturwissenschaftl. Gesellsch. — *M. Düggeli*, Pflanzengeographische und wirtschaftliche Monographie des Sihltales bei Einsiedeln. Vierteljahrsschrift d. naturforsch. Gesellsch. in Zürich (1903), Jahrg. 48.

[149]) *O. Amberg*, Beiträge zur Biologie des Katzensees. Vierteljahrsschrift Naturf., Zürich, Jahrg. XLV (1900). — *T. Waldvogel*, Das Lautikerried und der Lützelssee, ebenda (1900). — *W. Bally*, Der obere Zürichsee. Archiv. f. Hydrobiologie, III (1907). — *O. Guyer*, Beiträge zur Biologie des Greifensees, ebenda (1910).

[150]) *P. Vogler*, l. c., Flora oder allg. botanische Zeitung (1901), 89. Bd., Ergänzungsband.

[151]) *Max Oettli* (1905).

[152]) *E. Heß*, Diss., Univ. Zürich (1909), 171 Seiten u. 37 Textfig. — Ferner *L. H. Quarles van Ufford*, Étude écologique de la flore des pierriers. Diss. Lausanne (1909).

[153]) *C. Schröter*, Die Flora der Eiszeit. Neujahrsblatt Naturf. Zürich (1883). — *E. Neuweiler*, Die prähistorischen Pflanzenreste Mitteleuropas. Vierteljahrsschrift Naturf. Zürich, Jahrg. L (1905); Pflanzenreste aus der römischen Niederlassung Vindonissa, ebenda, Jahrg. 53 (1908); Untersuchung über die Verbreitung prähistorischer Hölzer, ebenda, Jahrg. 55 (1910) usw. — *H. Brockmann-Jerosch*, Neue Fossilfunde aus dem Quartär usw., ebenda Jahrg. 54 (1909) und die fossilen Pflanzenreste des glazialen Delta bei Kaltenbrunn und deren Bedeutung für die Auffassung des Wesens der Eiszeit. Bericht über d. Tätigkeit d. naturw. Gesellsch. St. Gallen (1909) usw.

[154]) *M. Rikli*, Die Anthropochoren und der Formenkreis des Nasturtium palustre. Bericht der zürch. bot. Gesellsch. (1903). — *O. Nägeli* und *Thellung*, Ruderal- und Adventivflora d. Kt. Zürich (1905).

[155]) *P. Jaccard*, Lois de distribution florale dans la zone alpine. Bull. soc. vaud. sc. nat., vol. XXXVIII (1902) und Gesetze der Pflanzenverbreitung in der alpinen Region. Flora, Bd. 90 (1902); Nouvelles recherches sur la distribution florale. Bull. soc. vaud. sc. nat., vol. XLIV (1908), p. 223—270.

[156]) Liefg. I (1906): Kt. Genf v. *A. Lendner;* II (1908), Binntal v. *A. Binz.*

[157]) Jahrg. I (1860), — Jahrg. LX (1910).
[158]) *Ed. Imhof* in Gerlands Beiträgen zur Geophysik, Bd. IV, Heft 3 (1900), S. 241—230.
[159]) Bericht d. schweiz. bot. Gesellsch., Heft XIX (1910), S. 171—224.
[160]) Hauptsächlich niedergelegt in den naturwissenschaftl. Zeitschriften v. Kt. Wallis (Murithienne), Waadt und Genf, ferner *S. Aubert*, La flore de la vallée de Joux (1901). — *A. Binz*, Das Binntal und seine Flora. 1. Bericht der Realschule zu Basel, 1907/08 usw.
[161]) *R. Chodat* et *S. Pampanini*, Sur la distribution des plantes des Alpes austro-orientales et plus particulièrement d'un choix de plantes des Alpes cadoriques et vénitiennes. Le Globe, t. XLI (1901). — *J. Briquet*, Le développement des flores dans les Alpes occidentales. Extrait des résult. sc. du Congrès intern. de Bot. de Vienne, 1905, pag. 130—173 (1906) usw.
[162]) Die neuere Literatur findet sich zusammengestellt in: *M. Rikli*, Zur Kenntnis der Pflanzenwelt des Kt. Tessin., Bericht X, 1905/07 der zürch. bot. Gesellsch. (1907) und in *P. Chenevard*, l. c. siehe Note 123.
[163]) l. c. (1899), S. 28—159.
[164]) *Ch. Flahault*, Le progrès de la géographie botanique depuis 1884, son état actuel, ses problèmes. — Progressus rei botanicae, vol. I (1907), p. 243—317.
[165]) Liefg. 1 (1896)—49 (1910).
[166]) Bisher sind 73 Lieferungen erschienen (1911).
[167]) Liefg. 1 (1904)—14 (1911).
[168]) Ergebnisse der pflanzengeographischen Durchforschung von Württemberg, Baden und Hohenzollern. Teil I—IV, Beilagen zu den Jahresheften des Vereines für vaterl. Naturkunde in Württemberg, Bd. 61 (1905)—65 (1909).
[169]) *R. Gradmann*, Das Pflanzenleben der schwäbischen Alb. ed. 1 (1898).
[170]) *P. Gräbner*, Die Heide Norddeutschlands. — Vegetation der Erde, l. c., Bd. V (1901).
[171]) *A. v. Hayek*, Monographische Studie über die Gattung Saxifraga (1905).
[172]) Wien 1905, im Selbstverlag des Organisationskomitees; Druck A. Holzhausen.
[173]) T. I (1871)—T. XXVII (1910).
[174]) Bull. I (1901)—X (1910).
[175]) Acta Horti Petropolitani T. XXI, fasc. 1 (1903).
[176]) Acta Societatis pro Fauna et Flora fennica, t. VI, Nr. 2 (1890).
[177]) *H. G. Simmons*, Floran och vegetationen i Kiruna. — Vetenskapliga och praktiska Undersökningar i Lappland (1910).
[178]) *H. Hesselman*, Vegetationen och skogsväxten pa Gotlands hällmarker. — Skogsvärdsföreningens tidskrift, 1908, S. 61—166.
[179]) G. Fischer, Jena 1904.
[180]) *Nils Silren*, Die ersten Erstarkungsstadien der schwedischen Dikotyledonen oder die Entwicklung derselben aus Samen bis zum Blühen. l. c. Bd. 40, Nr. 2 (1906), mit 25 Tafeln (schwedisch).
[181]) Botany of Faeröes based upon danish investigations (1901/08), 1070 S. mit 24 Tafeln und 202 Textfiguren.
[182]) Meddelelser om Groenland. Bd. I (1890) — Bd. XLVII (1911).
[183]) The plant life of Maryland v. *F. Shreve*, *M. A. Chrysler*, *Fr. Blodgett* und *T. Besley*, Baltimore 1917, 533 S. mit 29 Tab.
[184]) *Roscoe Pound* and *Fred. Clements*, The phytogeography of Nebraska (1900).
[185]) *N. Britton* and *A. Brown*, An illustrated Flora of the northern United States, Canada and british possessions, 3 vol., 1896/98.
[186]) Verlag v. P. Parey, Berlin; Heft 1 (1908) — Heft 8 (1910); im Format 20×28 *cm*.
[187]) Polygraph. Institut, Zürich, I. Decade (1900) — IV. Decade (1906).
[188]) *B. Fedtschenko* und *Alex. Fleroff*, Rußlands Vegetationsbilder, erscheint seit 1907.
[189]) In kolorierten Tafeln.
[190]) siehe Noten 142, 127 und 79.
[191]) *W. Köppen*, Versuch einer Klassifikation der Klimate. Geogr. Zeitschr., VII. Jahrg. (1901), 45 S. u. 2 Karten. Leipzig, B. G. Teubner.

[192]) *M. Rikli*, Versuch einer pflanzengeographischen Gliederung der arktischen Wald- und Baumgrenze. Vierteljahrsschrift der naturf. Gesellsch. Zürich., Bd. XLIX (1904), S. 128—142 und *Roder*, l. c. siehe Note 89.
[193]) *J. Jegerlehner*, Die Schneegrenze in den Gletschergebieten der Schweiz. Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. V (1901), Heft 3.
[194]) *L. Fischer*, Verzeichnis der Gefäßpflanzen des Berner Oberlandes. 1875/76 und Nachträge 1880, 1892.
[195]) *Max Koch*, Beiträge zur Kenntnis der Höhengrenzen der Vegetation im Mittelmeergebiet. Halle a. d. Saale, C. A. Kämmerer & Cie., 1910, 310 S. u. 92 Tabellen.
[196]) *B. P. G. Hochreutiner*, Le Sud-Oranais. Bulletin du Conservatoire et du jard. bot. de Genève, t. VII (1903), p. 21.
[197]) *M. Rikli, C. Schröter* und *G. Tansley*, Vegetationsbilder aus Algerien in *Karsten* und *Schenck*, Vegetationsbilder, Reihe IX (1911).
[198]) *H. Graf zu Solms-Laubach*, Die leitenden Gesichtspunkte einer allgemeinen Pflanzengeographie (1905), S. 196—203).
[199]) *F. Johow*, Estudios sobre la flora de las islas de Juan Fernandez, 1896.
[200]) *A. Engler*, Lactoridaceae. — *Engler-Prantl*, Die natürlichen Pflanzenfamilien. III, 2., S. 19/20 (1891).
[201]) *H. Christ*, Die Geographie der Farne. G. Fischer, Jena (1910), S. 327.
[202]) *J. D. Hooker*, On the vegetation of the Galapagos Archipelago as compared with that of some other tropical islands of the continent of America. — Linn. Transact., vol. XX (1847), p. 235—262.
[203]) *E. Bonnet*, Enumeration des plantes recueillies par le Dr. Guiard dans le Sahara. Nouv. Archives du Muséum d'hist. nat., 2 sér., V (1883); Géographie bot. de la Tunisie. Journ. de bot., IX/X (1896).
[204]) *L. Diels*, Die Pflanzenwelt von West-Australien. Leipzig 1906.
[205]) *Fr. Sauer*, Catalogus plantarum in canariensibus insulis. Diss. (1880).
[206]) *Christ*, Vegetation und Flora der canar. Inseln. Englers bot. Jahrb., VI (1885), S. 458 ff.
[207]) *H. Christ*, Spicilegium canariense. Englers bot. Jahrb., IX (1887), S. 86.
[208]) *F. Major*, Die Tyrrhenis. Kosmos, Zeitschr. f. Entwicklungslehre, Bd. XIII. Stuttgart (1883), S. 1—17 u. 81—106.
[209]) *M. Rikli*, l. c. (1903), S. 21.
[210]) *L. Diels*, l. c. (1908), S. 26.
[211]) *B. L. Robinson*, Flora of the Galapagos Islands. Proceed. Americ. Academy of arts and sc., vol. XXXVIII (1902), p. 77 ff.
[212]) *R. v. Wettstein*, Grundzüge der geographisch-morphologischen Methode der Pflanzensystematik. Jena. G. Fischer, 1898.
[213]) *M. Rikli*, Die Gattung Dorycnium. *Englers* bot. Jahrb., Bd. XXXI (1901), H. 3, S. 314—404, mit 4 Taf.
[214]) *R. v. Wettstein* (1897), Denkschriften der Wiener Akademie.
[215]) *W. Johannsen*, Erblichkeit in Populationen und in reinen Linien.
[216]) *R. Chodat*, La Biométrie et les méthodes de statistique appliquées à la Botanique. Verh. d. schweiz. naturf. Gesellsch., 87. Jahresv., 1904, Winterthur (1905), S. 96—102.
[217]) *M. Jerosch* (1903), l. c. S. 70—73.
[218]) *L. Diels*, Genetische Elemente in der Flora der Alpen. *Englers* bot. Jahrb. XLIV, Beiblatt Nr. 102, Sep., S. 8/9.
[219]) Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit. Eine Sammlung von Berichten, herausgegeben von dem Exekutivkomitee des 11. internationalen Geologenkongresses. Stockholm 1910, 459 S.
[220]) *R. Gradmann*, Das Pflanzenleben der schwäb. Alb, ed. II. Tübingen 1900. T. I. S. 327.
[221]) *H. Christ*, Über afrikanische Bestandteile in der Schweizerflora. Ber. d. schweiz. bot. Gesellschaft. Heft VII (1897). S. 1—48.
[222]) *Joh. Nevole*, Studien über die Verbreitung von sechs südeuropäischen Pflanzenarten. Mitteil. d. naturwiss. Vereines für Steiermark. Bd. 46 (1910). S. 1—25, mit 6 Karten.

Die Entstehung und Erwerbung der Menschenmerkmale.

Von Prof. **Hermann Klaatsch**, Breslau.

I. TEIL.

Einführung und die Geschichte der Hand.

Die auffallende Tatsache, daß *Charles Darwin* in seinem Hauptwerk über die Entstehung der Arten den Menschen ziemlich unberücksichtigt gelassen und erst 12 Jahre später ihm ein besonderes Werk eingeräumt hat, sucht man sich wohl allgemein durch eine Art weiser Zurückhaltung des großen Engländers zu erklären. Er habe es zunächst nicht gewagt, die letzten Konsequenzen aus seiner neuen Lehre auch für die Krone der Schöpfung zu ziehen und habe damit aus Rücksicht auf religiöse Gesinnungen seiner Mitmenschen gezögert.

Diese Auffassung dürfte aber wohl nicht zu Recht bestehen, sondern, wie ich vermute, waren es sachliche Schwierigkeiten, die den weitschauenden Forscher zur Vorsicht mahnten. Hatte er doch als neues Prinzip den Kampf ums Dasein zur Erklärung der Vervollkommnung der Organismen eingeführt.

Bei dem Versuch der Anwendung der Lehre von der natürlichen Zuchtwahl auf den Menschen mußte *Darwin* einsehen, daß sich ungeheure Schwierigkeiten erheben, er hätte fürchten müssen, sein eigenes neues Gebäude in den Grundfesten zu erschüttern, wenn er die Darstellung der für das Tierreich klar und sicher erkannten Gesetze durch eine Heranziehung des Menschen kompliziert hätte.

Deshalb zog er es vor, den Menschen später zu behandeln im Zusammenhang mit einem Prinzip, das dem des Kampfes ums Dasein direkt widerstreitet, dem Prinzip der geschlechtlichen Zuchtwahl, dessen schon im Hauptwerk aufgestellte Gesetze er nun in seine Einzelheiten verfolgt. Mit Erstaunen aber und wohl auch einer gewissen Enttäuschung wird mancher Laie als Leser wahrnehmen, daß in dem Buche über die Abstammung des Menschen mehr als die Hälfte gewissen Tierformen, namentlich Insekten und Vögeln gewidmet ist, während dem Menschen nur ein kleiner Anteil zufällt. Auch wird der unbefangene Leser sich nicht befriedigt erklären können durch die Anwendung des Prinzips der geschlechtlichen Auslese auf den Menschen. Wenn es auch *Darwin* gelingt, eine Anzahl von Eigentümlichkeiten des Menschen durch die Darstellung der

sexuellen Zuchtwahl bei den Primaten im ganzen dem Verständnis näher zu bringen, so reicht doch diese Lehre absolut nicht aus, um den Menschen in seiner ganzen Eigenart zu charakterisieren. Es sind immer nur gewisse äußere Merkmale, die sich den geschlechtlichen Grundsätzen fügen. Die meist vortreffliche geistreiche Darstellung der Anfänge der höheren inneren Regungen, der Intelligenz und Moral hätte ganz gut als eine besondere Art von Zuchtwahl, nämlich der sozialen, aufgeführt werden können.

Darwin begnügt sich aber meist mit dem Nachweis der Möglichkeit einer Heranbildung des menschlichen Zustandes aus solchen, wie sie sich bei den Tieren finden; besonders sucht er durch Heranziehung der Primaten die scheinbare Kluft zwischen der Menschheit und Tierwelt zu überbrücken.

Was *Darwin* hauptsächlich für die geistige und soziale Sphäre versucht, führte sein großer Anhänger und Kampfgenosse *Th. Huxley*[1]) zuerst für die speziellen körperlichen Themata durch, indem er besonders das Skelett der Menschenaffen mit dem des Menschen verglich. Hierbei gelangte der berühmte englische Morphologe zu dem Ergebnis, daß die Kluft zwischen den Anthropoiden, besonders Orang, Schimpanse und Gorilla einerseits, den niederen Affen andrerseits in der ganzen Höhe der Organisation beträchtlicher ist, als diejenige zwischen den genannten Menschenaffen und dem Menschen. In einigen Punkten fand er den Menschen diesen, in anderen jenen Anthropoiden ähnlicher.

Es kam auch *Huxley* in erster Linie darauf an, den Boden zu ebnen für die Lehre, daß der Mensch aus gemeinsamer Wurzel mit den ihm ähnlichen Säugetieren entsprang, und zugleich versuchte *Huxley* in weiteren Kreisen das Verständnis dafür zu fördern, daß eine solche natürliche Auffassung von der Stellung des Menschen im Naturgange nichts Beleidigendes und Herabwürdigendes habe.

Das Abstammungsproblem selbst hat er eigentlich nur ganz allgemein behandelt, indem er lediglich die Anerkennung für die Vorstellung zu erkämpfen sucht, daß man aus der Ähnlichkeit im Bau auf eine gemeinsame Abstammung schließen müsse. Er hat nicht gesagt, der Mensch stamme vom Affen ab, so unwissenschaftlich verfuhr der scharfsichtige Engländer nicht, sondern er stellt folgende Alternative auf (S. 105): Entweder ist der Mensch durch „gradual modification of a man-like ape“ entstanden oder er stellt eine Abzweigung (Ramifikation) von dem mit diesen Menschenaffen gemeinsamen Urstock dar.

In das eigentliche Thema selbst ist er ebensowenig wie *Darwin* eingetreten, vor allem hat er gar nicht versucht, Gründe beizubringen für die von ihm aufgestellte und nach ihm benannte *Huxley*sche Regel, daß die Variationen des Menschen bald an Orang, bald an Gorilla, bald an Schimpanse erinnern.

Noch weniger ist *Huxley* dem Problem der Entstehung der eigentlich menschlichen Eigenschaften näher getreten. Er spricht zwar wieder-

[1]) *Th. Huxley*, Evidence as to Man place in Nature. London and Edinburgh 1863.

holt von *Darwins* Selektionstheorie als derjenigen Anschauung, die am besten mit den Tatsachen in Harmonie stehe und daher vorläufig als Grundlage für die natürliche Auffassung des Menschen zu gelten habe.

S. 107: „and I for one, am fully convinced, that if not precesely true, that hypothesis is as near an approximation to the truth, as, for example the Copernican hypothesis was to the true theory of planetary motions.“

Mit dieser Anerkennung der Lehre *Darwins* hat *Huxley* jedenfalls mehr die allgemeine Zugehörigkeit des Menschen zum Tierreich, als den speziellen Modus seiner Heranbildung gemeint, denn die Selektionstheorie, die doch den Kernpunkt von *Darwins* neuen Ideen bildete, wird von *Huxley* gar nicht auf ihre Gültigkeit für den Menschen geprüft. Vielleicht waren es gerade Zweifel an der Anwendbarkeit dieses Prinzips auf den Menschen, die *Huxleys* Zurückhaltung einer absoluten Anerkennung bedingten; gesteht er doch zu (S. 107), daß vorläufig noch nicht die natürliche Zuchtwahl als fähig erkannt ist, „to do all that is required of it to produce natural species“.

Darwin selbst, an einer der wenigen Stellen seines zweiten Hauptwerkes, die von der natürlichen Zuchtwahl in Zusammenhang mit dem Menschen handeln, gibt zu (S. 67), daß er nach Kenntnisnahme der neuen Publikationen von *Naegeli* und *Broca* „wahrscheinlich der Wirkung der natürlichen Zuchtwahl oder des Überlebens des Passendsten zu viel zugeschrieben habe“. Er habe früher „die Existenz vieler Strukturverhältnisse nicht hinreichend beachtet, welche weder wohltätig noch schädlich zu sein scheinen“ — „und ich glaube, dies ist eines der größten Versehen, welche ich bis jetzt in meinem Werke entdeckt habe“. *Darwin* operiert fortan nur noch auf indirektem Wege mit der natürlichen Zuchtwahl, indem er sie vermittelst der sozialen Fähigkeiten der menschlichen Vorfahren wirksam sein läßt. An einer Stelle sogar, die viel zu wenig bisher beachtet wurde, läßt er die natürliche Zuchtwahl nur als Konkurrenz zwischen Stämmen der Menschheit selbst gelten und gesteht hierbei ganz deutlich zu, daß ungewöhnlich günstige Bedingungen für die Entfaltung der Menschheit in Erwägung gezogen werden müssen. Der von verschiedenen Seiten, wie durch den Herzog von Argyll, gegen ihn erhobene Einwand, daß bei der Wehrlosigkeit des menschlichen Körpers natürliche Zuchtwahl schlecht auf ihn anwendbar ist, ist offenbar von *Darwin* selbst deutlich empfunden worden. Bei der Verteidigung gegen diese Einwendungen läßt sich *Darwin* eine ganz sonderbare logische Inkonsequenz zuschulden kommen.

Indem er davon ausgeht, daß starke Formen nicht sozial zu sein pflegen, meint er, daß, wenn der menschliche Vorfahre die Stärke eines Gorilla besessen hätte, er schwerlich sozial geworden sein würde „und dies würde in äußerst wirksamer Weise die Entwicklung jener höheren geistigen Eigenschaften beim Menschen, wie Sympathie und Liebe zu seinen Mitmenschen, gehemmt haben. Es dürfte daher von einem unendlichen Vorteil für den Menschen gewesen sein, von irgend einer verhältnismäßig schwachen Form abgestammt zu sein“ (S. 70).

Es ist sonderbar, daß *Darwin* hier ganz seiner eigenen Betrachtungsweise untreu wird, indem er gar nicht die Möglichkeit in Betracht zieht, daß die Stärke des einsamen Gorilla durch natürliche Zuchtwahl bedingt sein kann, daß also die Vorfahren des Gorilla mehr sozial gelebt haben können. Hieraus geht deutlich hervor, wie wenig *Darwin* der Überlegung näher getreten ist, was am menschlichen Zustande primitiv und was nicht primitiv ist, eine Betrachtungsweise, ohne die überhaupt gar keine systematische Verfolgung der Umbildungen einer tierischen Ahnenform in den Menschen möglich ist.

Darwin fährt fort (S. 70): „Die geringe körperliche Kraft des Menschen, seine geringe Schnelligkeit, der Mangel natürlicher Waffen usw. werden mehr als ausgeglichen erstens durch seine intellektuellen Kräfte, durch welche er sich, während er noch im Zustand der Barbarei verblieb, Waffen, Werkzeuge usw. formen lernte, und zweitens durch seine sozialen Eigenschaften, welche ihn dazu führten, seinen Mitmenschen Hilfe angedeihen zu lassen und solche von diesen zu empfangen.

Auch in diesem Satze vermissen wir die scharfe und konsequente Logik der sonstigen Ausführungen *Darwins*. Wenn einmal der Kampf ums Dasein ein allgemein geltendes Prinzip war, wie kamen denn die schwächlichen Vorfahren des Menschen so weit, daß sie allein durch ihre intellektuellen Kräfte sich forthelfen konnten? Um Waffen und Werkzeuge zu formen, mußten sie doch natürliche Werkzeuge besitzen, nämlich die Hände. Wie kamen sie denn zu diesem Besitz? Nirgends bei *Darwin* noch auch bei *Huxley* finden wir Andeutungen solcher Überlegung.

Darwin selbst aber empfand offenbar deutlich die Schwäche seiner Ausführungen, da er im Anschluß an das bereits Angeführte zu einer Hilfshypothese greift, die geradezu eine Ausschaltung des Kampfes ums Dasein aus der menschlichen Ahnengeschichte bedeutet — an eben jener Stelle (S. 71), die ich bereits als hoch bemerkenswert kennzeichnete:

„Aber selbst wenn diese Vorfahren des Menschen bei weitem hilfloser und verteidigungsloser waren als irgendwelche jetzt existierende Wilde, sobald sie irgend einen warmen Kontinent oder eine große Insel wie Australien oder Neu-Guinea oder Borneo bewohnten (die letztere Insel bewohnt jetzt der Orang), so würden sie keiner besonderen Gefahr ausgesetzt gewesen sein. Auf einem Bezirk, welcher so groß wie einer der genannten ist, würde die aus der Konkurrenz zwischen den einzelnen Stämmen folgende natürliche Zuchtwahl in Verbindung mit den vererbten Wirkungen der Gewohnheit hinreichend gewesen sein, um unter günstigen Bedingungen den Menschen auf seine jetzige hohe Stellung in der Reihe der Organismen zu erheben."

Wenn auch der Ausdruck „Zuchtwahl" hier noch vorkommt, so bedeuten doch diese Worte *Darwins* ein ziemlich deutliches Zugeständnis, daß der Kampf ums Dasein für die älteren Phasen der Heranbildung der Menschenmerkmale keine große Rolle gespielt haben kann. Der von *Darwin* nur beiläufig geäußerte Gedanke ist durch *O. Schoetensacks* Theorie, daß

Australien jenen Bedingungen entspreche, ausführlich ausgebaut worden.[1]) Wenn auch heute in der speziellen Fassung nicht mehr haltbar, hat doch die Arbeit *Schoetensacks* vortreffliche Anregungen geliefert, die ein gesundes Gegengewicht bildeten gegen die in Deutschland von allzu eifrigen Anhängern *Darwins* vertretene einseitige Fortbildung seiner Lehren.

Obwohl, wie wir gesehen haben, weder *Darwin* noch *Huxley* Anlaß dazu gegeben haben, verdichtete sich unter *Haeckels* Einfluß die Idee der menschlichen Stammesgeschichte mehr und mehr zu einer Ableitung der Menschen von Menschenaffen, wobei die für letztere heute charakteristischen Merkmale, wie die langen Arme und die großen Eckzähne, als Vorfahrencharaktere des Menschen aufgefaßt wurden.

Ja sogar die Idee des Kampfes ums Dasein als Faktor der Menschwerdung, und zwar in einer geologisch relativ späten Zeit regte sich in vielen Köpfen. Das Hereinbrechen der Eiszeit sollte die Affenahnen des Menschen aufgerüttelt haben zu jenen Anstrengungen, denen die Anfänge einer Kultur zuzuschreiben seien.

Eine solche Betrachtungsweise ignorierte gänzlich die weite Verbreitung der Menschheit in tropischen Gegenden, wo die Eiszeit keine Rolle spielte. Sie läßt ferner außer acht die mehr und mehr sich häufenden Zeugnisse dafür, daß selbst Europa schon vor der Eiszeit in der Tertiärzeit vom Menschen bewohnt war. Die Funde von Steinwerkzeugen aus den Präglazialschichten sind trotz aller Skepsis und trotz der sich zum Teil auf recht sonderbare Argumentationen (vgl. die Kreidemühlen in Mantes und die Pseudo-Eolithen!) stützenden Gegnerschaft nicht mehr aus der Welt zu schaffen.

Endlich fehlte es bis vor kurzem an einer streng morphologischen Betrachtung der menschlichen Merkmale und ihrer Herkunft. Solange man in jeder Einrichtung im Menschen den Endpunkt von Entwicklungsreihen zu sehen glaubte, deren niedere Stufen bei den Affen repräsentiert seien, konnte man nicht zu einem morphologischen Verständnis des menschlichen Organismus gelangen.

Erst *Gegenbaur*, der im Jahre 1903 verstorbene große Morphologe von Heidelberg, hat die menschliche Anatomie in dem Sinne reformiert und die frühere praktische Hilfswissenschaft der Medizin zu einer philosophischen Disziplin erhoben, daß er die strengen Prinzipien der vergleichenden Anatomie auf jedes Organsystem des Menschen anwandte.

Die Methodik dieser Forschungsweise beruht darin, daß die verschiedenen Zustände der Ausbildung eines Teiles nebeneinander gestellt und in Reihen geordnet werden, deren Glieder sich mit Rücksicht auf ihre Ähnlichkeit miteinander anordnen. Die Endpunkte der Reihen können sehr verschieden voneinander sein, aber sie werden vermittelt durch die Glieder der Reihen.

---

[1]) *O. Schoetensack,* Die Bedeutung Australiens für die Heranbildung des Menschen aus einer niederen Form. Verhandl. d. Naturh.-Mediz. Vereins zu Heidelberg. N. F., VII. Band, 1. Heft, 1901.

Ohne Vergleichung eines Objektes mit anderen können wir uns kein Urteil über dasselbe bilden; das gilt nicht nur vom Bau des Körpers, sondern ganz allgemein.

Jede Abschätzung beruht auf Vergleichung. Jede Abschätzung verlangt nun einen Maßstab, einen Gesichtspunkt, der über die Endpunkte die Entscheidung fällt, welcher derselben als Anfangs-, welcher als Endglied zu gelten habe.

Bei den organischen Gebilden ist dieser Maßstab gegeben durch die Begriffe „ursprünglich" oder „primitiv" und nicht ursprünglich oder abgeändert. Welcher Teil der Reihen nach dem Ursprünglichen hindeutet, ergibt sich aus einer Vergleichung der Reihen untereinander. Eine solche zeigt stets, daß verschiedene Reihen der Zustände eines Organs oder Organsystems mit dem einen Ende einander immer ähnlicher, mit dem anderen unähnlicher werden. Das erstere deutet den gemeinsamen Ausgangspunkt an, von dem die Reihen nach verschiedenen Richtungen hin ausgehen. Somit wird ein geschichtliches, ein genetisches Moment in die Betrachtung dieser Reihen eingeführt. Es ergeben sich Urformen und Urzustände, von denen aus man durch allmähliche Umgestaltungen zu den einzelnen Reihen bis zu ihren Endpunkten vorgehen kann. Sind solche Reihen mit richtiger Deutung der Tatbestände aufgestellt, so ergeben sie eine Art von Stammbäumen, denen der Tierformen vergleichbar. Wie nun für die letzteren ein rückläufiges Nacheinander undenkbar ist, so auch für die morphologischen Reihen der Körperzustände. Was einmal in gewisser Richtung umgeformt ist, kann den Ausgangszustand nicht wieder erreichen.

Verschiedene Reihen können niemals zu gemeinsamen Endpunkten führen; sie verlaufen stets getrennt voneinander, wenn sie auch sehr einander genähert sein können.

Nun kommt es nicht selten vor, daß Reihen, die von ganz verschiedenen Punkten ausgehen, sich in ihren Endpunkten auffällig einander nähern, so daß man zu der Meinung gelangen kann, es müsse eine gemeinsame Wurzel vorhanden sein; solche Erscheinungen einer „Konvergenz" oder falscher Ähnlichkeit ergeben sich klar als solche, wenn man die Reihen in ihrer ganzen Ausdehnung vergleicht; auch zeigt meist schon eine scharfe Analyse des Tatbestandes erhebliche Differenzen trotz aller Ähnlichkeit.

Oft ist es die gleiche Art der Leistung, also die physiologische Bedeutung mancher Einrichtungen, die ihre scheinbare Ähnlichkeit oder Konvergenz erklärt; solche Bildungen sind einander analog, wie z. B. das paarige Auge der Wirbeltiere und der Tintenfische. Dem Laien werden diese Organe sehr ähnlich erscheinen, aber der Fachmann erkennt sofort, daß der Bau der lichtempfindlichen Schicht total verschieden ist, daß in einem Falle die das Licht aufnehmenden Elemente nach der Außenwelt hin, im anderen Falle davon abgewendet sind. Es müssen also beide Bildungen auf ganz verschiedene Weise entstanden sein.

Andrerseits können Teile, die in ihrer Leistung sich sehr verschieden voneinander verhalten, doch vom gemeinsamen Urzustand aus abzuleiten sein, sie sind einander homolog, nicht analog, wie z. B. die Krallen der Raubtiere, die Hufe der Huftiere und die Fingernägel der Primaten.

Die morphologischen Stammbäume der Organe und Organsysteme bilden die Grundlage für eine wissenschaftliche Beurteilung der stammesverwandtschaftlichen Beziehungen der Tierformen zueinander.

Da ein genetisches Band in beiden Fällen vorliegt, so gibt die Verwandtschaft Kunde von gemeinsamer Abstammung.

Jede Tierform stellt eine Kombination verschiedener Zustände dar, in einem Organ kann sie sehr primitiv, in einem anderen aber sehr abgeändert sein.

Tierformen, die äußerlich einander wenig ähnlich sehen, können doch nahe miteinander verwandt sein auf Grund der morphologischen Gleichwertigkeit gewisser äußerlich nicht markierter innerer Zustände. Daß die Vögel den Eidechsen sehr nahe verwandt sind, will dem Laien anfangs recht sonderbar erscheinen, aber die genauere Untersuchung zeigt diese Beziehung näher als die zwischen Eidechsen und Schildkröten. Andrerseits können äußerliche Ähnlichkeiten — Konvergenzerscheinungen Verwandtschaften vortäuschen, die nicht bestehen. So ist das australische Schnabeltier den Vögeln nicht näher verwandt als irgend ein anderes Säugetier, obwohl es einen Schnabel hat und Eier legt.

Die vergleichende Anatomie oder Morphologie arbeitet in erster Linie mit dem erwachsenen Zustand der Organismen und ist auf keine andere Disziplin angewiesen. Wohl aber können ihre Schlüsse vielfach ergänzt, unterstützt und besonders den weniger in diese Disziplin Eingeweihten verständlicher, ihre Ergebnisse handgreiflicher gemacht werden durch die Ausdehnung der vergleichenden Forschung auf die noch nicht entwickelten Formen, auf die Keime. Die vergleichende Embryologie ist ja im Grunde nur ein Zweig der Morphologie, denn eine scharfe Grenze zwischen embryonal, jugendlich und erwachsen gibt es ja nicht.

Eine weitere wichtige Hilfe erwächst der Morphologie aus der Paläontologie.

Die vielfach verbreitete Meinung, als ob erst durch Aufdeckung von vermittelnden ausgestorbenen Formen in den Schichten der Erdrinde Zusammenhänge von Tierformen und Tiergruppen überhaupt bewiesen würden, ist nicht zutreffend; die vergleichende Anatomie bedarf dessen nicht; sie ist vielmehr imstande und berechtigt, die Lücken, die ihre Reihen infolge der geringen Anzahl heute lebender Formen besitzen müssen, theoretisch auszufüllen. Alsdann mag später ein glücklicher Fossilfund die Probe auf das Exempel abgeben und zeigen, ob der betreffende kühne Morphologe mit der Rekonstruktion seiner Zwischenformen das Richtige getroffen hat oder nicht.

Der Morphologe stellt die Reihen der Entwicklung auf, unbekümmert um die Faktoren, die die betreffenden Reihen hervorgerufen haben. Das

Suchen nach den letzteren ist wieder eine Betrachtungsweise für sich. Vermag dieselbe sich erfolgreich der morphologischen Deduktion anzuschließen, um so besser; aber notwendig ist dieses Zusammengehen nicht.

Aus diesem Grunde ist auch die ganze Zuchtwahllehre für die Morphologie ohne prinzipielle Bedeutung. Wohl lassen sich zahlreiche morphologische Reihen ganz vortrefflich mit den von *Darwin* in seiner „Entstehung der Arten“ vorgebrachten Prinzipien in Einklang bringen — die Not, der Kampf ums Dasein erscheint als umgestaltender Faktor, aber in anderen Fällen versagt dieses Prinzip gänzlich — und damit verliert es den Charakter eines Naturgesetzes, den ihm *Darwin* doch wohl beilegen wollte, wenigstens zu Anfang. Wir sahen ja schon oben, wie deutlich *Darwin* für den Menschen den Rückzug angetreten hat. *Darwin* war nicht Anatom, was er selbst oft bedauert hat, sonst würde er wohl die von *Huxley* nur eben begonnenen Betrachtungen in ihre Konsequenzen und ins Extrem verfolgt haben. Dabei hätte ihm schwerlich entgehen können, daß auf die einzelnen Organsysteme verschiedene Betrachtungsweisen angeordnet werden müssen. Einen richtigen Anfang hatte er ja darin schon gemacht, indem er gewisse äußere Merkmale, wie Bartbildung, Körperhaarkleid u. a. vom Standpunkte der sexuellen Zuchtwahl aus beurteilt, aber er hätte noch weiter gehen müssen.

Dabei zeigt sich, daß die Merkmale, die dem Menschen zukommen, äußerst ungleichwertig sind; daß der Mensch keineswegs Endpunkte von Entwicklungsreihen zeigt, sondern daß im Gegenteil viele scheinbar neue Einrichtungen ganz auffällig an die Anfangspunkte mancher morphologischen Reihe anknüpfen, die bei anderen Säugetieren äußerst kompliziert fortgeführt sind. Der Mensch ist in manchen seiner Merkmale auffallend primitiv geblieben.

Dieser Gesichtspunkt ist weder bei *Darwin*, noch bei *Huxley*, noch bei *Haeckel* hervorgetreten. So viel mir bekannt, bin ich der erste gewesen, der in allgemein gehaltenen Darstellungen des menschlichen Werdeganges [1]) diesen sehr fruchtbaren Ideengang verfolgt hat, der in zahlreichen Spezialuntersuchungen über die Variationen des Menschenskeletts sich mir bewährt hatte.

Zur Einführung in diese meine Lehre von der Entstehung und Erwerbung der Menschenmerkmale eignet sich am besten eine Betrachtung desjenigen natürlichen Werkzeugs, ohne das der Mensch niemals ein künstliches hätte anfertigen können — unserer Hand. Es ist ja klar, daß, wenn die Menschenahnen nicht imstande gewären wären, vermöge der Gegenüberstellbarkeit des Daumens gegen die anderen Finger Steine vom Boden zu erheben, gegeneinanderzuschlagen und Steininstrumente herzustellen — von einer Kulturentwicklung niemals etwas hätte zur Entfaltung kommen können.

---

[1]) *H. Klaatsch*, Entstehung und Entwicklung des Menschengeschlechts. Weltall und Menschheit. Berlin, Bong, 1902. — Derselbe, Der Aufbau des menschlichen Organismus auf Grund seines natürlichen Werdeganges. Bibliothek des allgemeinen und praktischen Wissens. Berlin, Bong, 1909.

Nach der schablonenhaften Vorstellung einer allmählichen Vervollkommnung durch den Kampf ums Dasein, die früher üblich war, konnte man von der Menschenhand erwarten, daß sie die höchste letzte Blüte eines mühsamen Entwicklungsprozesses sei, zu der es eben nur die „Krone der Schöpfung", der Mensch, zu bringen vermochte. In der Tat begegnen uns in älteren Darstellungen vielfach solche Ideen von dem allmählichen „Freiwerden" der Hände, als der Menschenahne sich mit dem Vorderteil vom Erdboden anzuheben begann, wobei ein vierfüßiger Zustand fälschlich vorausgesetzt wird.[1]) Die Tatsachen geben nämlich nicht den geringsten Anhaltspunkt dafür, daß die Menschenhand erst in einer späten Zeit erworben wurde, sondern im Gegenteil, die Paläontologie läßt gar keinen Zweifel darüber, daß der Besitz einer Hand eines der ältesten Erbstücke unseres Körpers darstellt, und zwar aus einer Zeit, die uns zurückführt bis zu den Anfängen der Säugetiere nicht nur, nein der Landwirbeltiere überhaupt.

Die ältesten Anzeichen der Existenz von Landwirbeltieren, die wir heute besitzen, sind nicht etwa Knochenreste, sondern es sind Fährteneindrücke, die einst im weichen Schlamm von Ufergeländern durch Tiere hervorgebracht wurden, die in der Primär- und Sekundärzeit lebten. Neuer Schlamm füllte die Vertiefungen aus und nach Erhärtung der ganzen Ablagerungen von Sandsteinschichten blieben die Gangspuren erhalten, wie natürliche Abgüsse oder Ausgüsse. Beim Lösen der Schichten voneinander zeigen sich nun diese Ausgüsse als Erhebungen und sie sind es besonders, die als Schaustücke in den Museen weit verbreitet sind. Auch dem Laien fallen sie auf durch die große Ähnlichkeit mit Menschenhänden. Hieraus erklärt sich auch die Bezeichnungsweise der betreffenden Fossilspuren als Handtiere oder Cheirotherien (von griechisch χεῖρ die Hand) (Fig. 137).

In den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde man zuerst in Mitteldeutschland auf solche Funde aufmerksam, von denen solche aus Thüringen besondere Berühmtheit erlangten. Später entdeckte man ganz ähnliche Fährtenplatten in England und auch außerhalb Europas. Es handelte sich hierbei um Schichten aus dem Beginn der Sekundärperiode (Trias). In dieser Zeit müssen diese Handtiere sehr weit, fast über die ganze Erde verbreitet gewesen sein. Wir kennen bisher kein einziges Skelettstück, das auf sie bezogen werden könnte, aber die Fährten sind genügend Zeugen zum Beweis der Existenz von Formen, die im Grundplan ihrer Gliedmaßen den Säugetieren nahegestanden haben. Noch weit älter sind ähnliche Spuren, die in neuerer Zeit wiederum in Thüringen bekannt wurden, die sog. „Tambacher Fährten", um deren Erforschung sich besonders Dr. *Pabst*, der Direktor des naturwissenschaftlichen Museums in Gotha, große Verdienste erworben hat. Diese Spuren reichen in die Primärzeit der Erde zurück, in das „Perm", — als die einzigen Zeugen überhaupt, daß bereits

[1]) Selbst noch bei *Branca:* „Der Stand unserer Kenntnisse vom fossilen Menschen", Leipzig 1910, findet sich solche Auffassung: „Indem die Hand vom niedrigen Dienste eines Gebrauchszuges befreit wurde, erhielt das Gehirn den Anstoß nachzudenken über das Wie? ihrer Verwendung" (S. 55).

damals Landwirbeltiere vorhanden waren. Diese Tambacher Fährten zeichnen sich von den geologisch jüngeren Cheirotherien dadurch aus, daß die Abdrücke der vorderen und hinteren Gliedmaßen einander ähnlicher sind in den Größendimensionen. Die auf der Cheirotherienplatte am meisten imponierenden Handgebilde gehören nämlich den hinteren Extremitäten an und übertreffen um das Doppelte die eigentlichen Hände. Wir können daraus schließen, daß die Cheirotherien starke Hintergliedmaßen besessen haben und daß sie nur mit einem Teil ihres Fußes den Boden berührten. — Hier ist es lediglich die Hand als solche, die unser Interesse erweckt und für diese sind die Tambacher Fährten die wertvolleren, nicht nur, weil sie durch die relativ bedeutenden Größen der Hand auf Formen hinweisen, die sich noch primitiver verhielten als die Cheirotherien, weil gleichartiger in der Organisation der vorderen und hinteren Gliedmaßen, sondern ganz besonders deshalb, weil die Tambacher Abdrücke eine ganz auffällige Ähnlichkeit mit Kinderhänden offenbaren. Man kann sie in der Tat nicht besser beschreiben als durch eine Vergleichung mit solchen oder auch mit Embryonalzuständen des Menschen, die die Plumpheit und Derbheit der Kinderhand noch auffälliger zeigen (Fig. 138).

Fig. 137.



Eine Platte mit den Fährtenspuren der Handtiere oder Cheirotherien aus der Trias. Die größeren Gebilde entsprechen den handähnlichen Fußabdrücken. Zur Vergleichung der Größe daneben eine menschliche Hand. Die Platte stammt aus der Fundstelle am Heßberg bei Hildburghausen und befindet sich im Berliner Museum für Naturkunde. Photogr. Aufnahme von *H. Klaatsch*.

Unter den fünf Strahlen oder Fingern, in welche die Tambacher Fährten auslaufen, ist es leicht, den Daumen herauszuerkennen, der durch einen dicken mächtigen Ballen ausgezeichnet ist und damit deutlich seine Gegenüberstellbarkeit gegen die anderen bekundet, die ihn alle an Länge übertreffen.

Der vierte Finger scheint der längste gewesen zu sein. Die Unterfläche der Finger läßt deutlich die Einkerbung erkennen, die den Gelenken zwischen den Fingergliedern (Phalangen) entsprechen und den Zuständen der Säugetiere (Dreizahl) zu gleichen scheinen. Die Fläche zwischen Daumenballen und den anderen Fingern ist sehr gering entwickelt, die Mittelhand (Metacarpus) ist außerordentlich breit, die Finger sind kurz und gedrungen — alles embryonale Merkmale der Menschenhand.

Fig. 138.



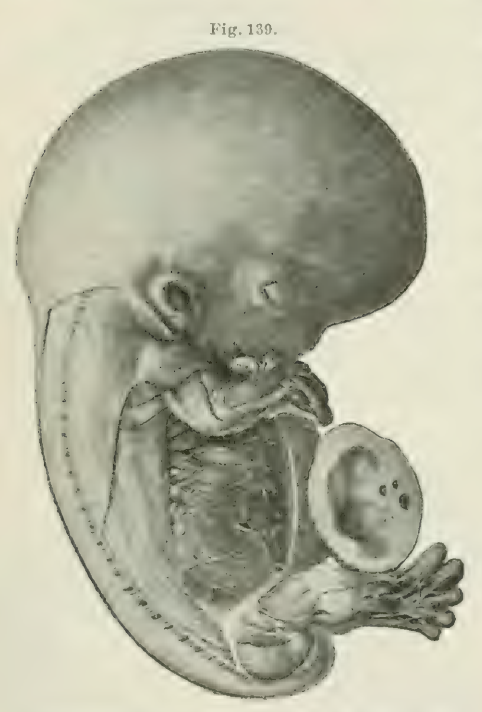
Natürlicher Abguß der Hand eines Wirbeltieres der Permperiode (Primärzeit), von dem sonstige Reste nicht bekannt sind. Links der Daumen mit dem Daumenballen. Das Original stammt aus den Tambacher Schichten in Thüringen und befindet sich im Museum in Gotha. Der Direktor des Museums Dr. *Pabst* ist der Entdecker der Tambacher Fährten. Ihm verdankt der Verfasser die Photographie.

Die Größe der Tambacher Hände entspricht ungefähr in der Breite der jugendlichen Menschenhand von zirka 15 Jahren während die Länge eine Vergleichung nur schwer gestattet, etwa der eines Kindes von 5 Jahren gleichkommen dürfte. Die Lage der Abdrücke ist derartig, daß man an die Fährten der jetzigen Salamander erinnert wird; die Spuren entsprechen ungefähr einer Geraden, wobei die einer Seite entsprechenden linken oder rechten Abdrücke dicht beieinander liegen. Hieraus darf man auf eine Gangweise schließen mit rollenden seitlichen Bewegungen, wie wir sie bei den geschwänzten Amphibien beobachten können, denjenigen Wirbeltieren, die dem Wasser bewohnenden Vorfahrenstadium der Landwirbeltiere noch heute am nächsten stehen. Wir finden auch bei den heutigen Amphibien primitive Handbildungen noch ausgeprägt und der dicke Daumenballen läßt sich an der Hand des Frosches deutlich erkennen. Von einigen Rückbildungen abgesehen, zeigen uns dieselben den Grundplan der Hand in ihrer Übereinstimmung mit dem des Fußes sehr deutlich. Die fossilen „Stegocephalen", die zum Teil recht großen Panzerlurche der Sekundärzeit ergänzen das Bild, das wir uns von der Urform der Landgliedmaßen = Endplatte zu machen haben. Die absolut konstante Fünfstrahligkeit, „Pentadaktylie", ist eine fundamentale Eigenschaft derselben und wird verständlich aus der von vornherein gegebenen Besonderheit des ersten inneren Strahles des Daumens. Da die Urhand bereits ein Greiforgan war, ist die Beschränkung der dem Daumen entgegenstellbaren Finger auf vier aus der Betrachtung verständ-

lich, daß eine Mehrzahl die Leistungsfähigkeit des Ganzen nicht erhöhen, sondern nur beeinträchtigen könnte. Hieraus erklärt sich die Rückbildung der in der Vorfahrenreihe der Landwirbeltiere vorhandenen gewesenen Zahl von Strahlen der Endplatte. Nennen wir letztere, soweit es sich um Landwirbeltiere handelt „Cheiropodium", um die Doppelbedeutung von Hand (χειρ) und Fuß (πους) auszudrücken, so ist für deren Vorfahrenform der Ausdruck „Cheiropterygum" = Handflosse angebracht und anerkannt.

Wenn uns auch vorläufig fast jegliches Tatsachenmaterial fehlt, um die Vorgeschichte unserer Hand zu verfolgen bis zu den Ahnen, die dauernd das Wasser bewohnten, bis zum Kiemenstadium der Wirbeltiere, so ergeben sich doch einige große Züge, die noch deutlich an der Menschenhand die Erinnerung an die Meerstufe offenbaren (Fig. 139 und 140).

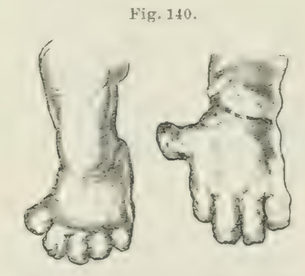
Fig. 139.



Menschlicher Embryo aus dem zweiten Monat, mit handähnlicher Anlage des Fußes. Muskeln und Nerven sind zum Teil freigelegt. Aus einer Publikation Dr. *Bardeen* und Dr. *Lewis* (Baltimore 1901).

Die embryonale Entwicklung der Hand zeigt dieselbe als Anlage einer einheitlichen Platte, deren Form durchaus an eine rundliche Flosse erinnert, wie wir sie bei manchen Fischen, den „Crossopterygiern" unter den Ganoiden noch heute antreffen. Die Dimensionen der Embryonalhand sind relativ so bedeutend, daß dagegen die anderen Abschnitte der Gliedmaßen ganz zurücktreten — der Arm stellt eigentlich das Stielgebilde dar, das erst im Dienst der Hand bedeutendere Dimensionen gewonnen hat. Die Scheidung in Ober- und Unterarm ist eine Gliederung, die sich beim Übergang vom Wasser- zum Landaufenthalt der Wirbeltiere vollzogen hat. Noch bei Amphibien erhält sich bei den geschwänzten Formen, wie Salamandern, viel von den fischähnlich schlängelnden Bewegungen des Rumpfes, wobei die Extremitäten als Ruderapparat funktionieren (Fig. 141 und 142).

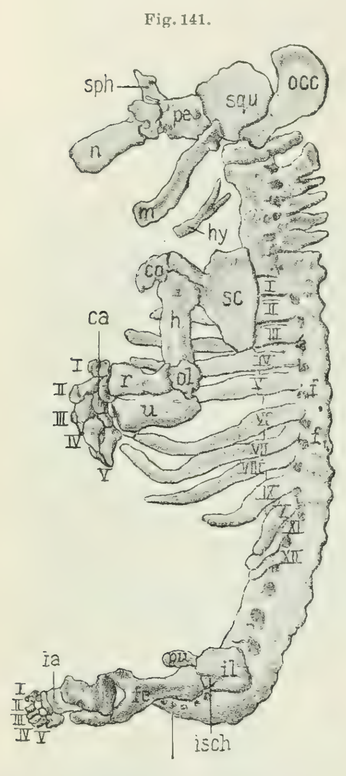
Fig. 140.



Hand (rechts) und Fuß (links) von einem Embryo desselben Stadiums (27 *mm* Länge) aus *Kollmanns* Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte des Menschen.

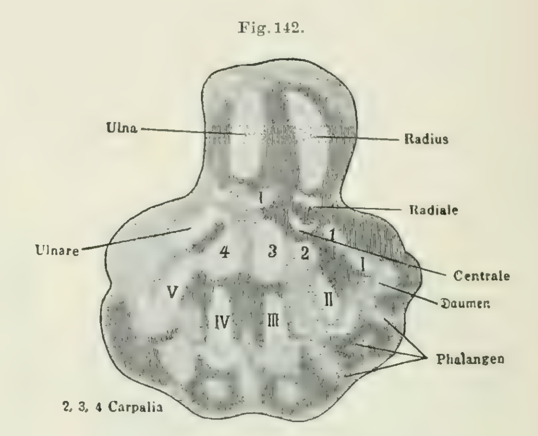
Die Geschichte unserer Hand verweist uns somit auf ein Stadium jenseits des Beginnes der Landwirbeltiere und es erscheint als ein sehr verlockendes Problem, eine Verknüpfung der Cheiropodien mit den Cheiropterygien vorzunehmen.

Fig. 141.



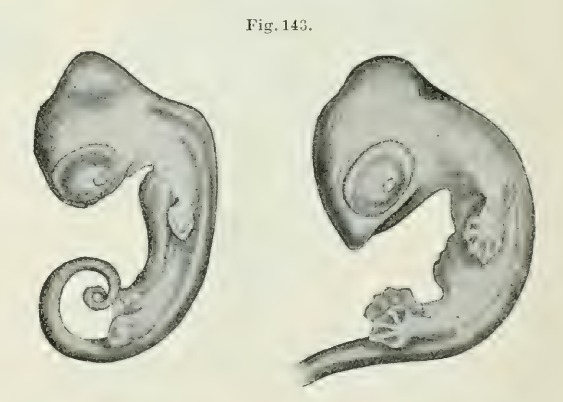
Skelett eines menschlichen Embryo aus einem noch früheren Stadium als Fig. 139 u. 140, nämlich von 17 *mm* Länge. Das Skelett ist vollständig knorpelig. Vom Kopfskelett sind die Anlagen folgender Skeletteile zu sehen: *n* Nasenkapsel, *sph* Sphenoidale, *pe* Petrosum, *squ* Squamosum, *occ* Occipitale, *m* *Meckel*scher Knorpel, *hy* Zungenbein. Zu beachten ist besonders die verhältnismäßig enorme Größe des Armskeletts und besonders der Hand. *sc* Scapula, *coa* Coracoid., *h* Humerus, *r* Radius, *u* Ulnae, *ol* Olekranon, *ca* Handwurzel, Carpus, *I—V* Strahlen der Hand. Nach einer Publikation von *W. Hagen*, 1900, etwas modifiziert.

Fig. 142.



Vorderarm und Hand eines menschlichen Embryo aus einem noch etwas jüngeren Stadium als Fig. 141, nämlich 14 *mm* Länge, etwas komprimiert, um die Anordnung der Skelettanlagen besser zu zeigen. Zu beachten ist die Anlage des Centrale carpi. Aus *Kollmanns* Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte.

Fig. 143.



Eidechsenembryonen (Lacerta muralis) mit flossenartigen Anlagen der Gliedmaßen in verschiedenen Entwicklungsstadien. Nach einer Abbildung von Prof. *Mollier*, München. Die paarigen Extremitäten der Wirbeltiere II. Das Cheiropterygium. Anatom. Hefte. *Meckel-Bonnet*, Bd. V, 1895.

Aber wie gesagt betreten wir damit einen Boden, der leider noch sehr wenig durch Tatsachen gesichert ist.

Es liegt dies hauptsächlich daran, daß die große Mehrzahl der „Fische", also der kiemenatmenden, wasserbewohnenden Wirbeltiere, sich von den gemeinsamen Urformen durch Umgestaltungen weit entfernt

hat, so daß gerade für ihre Gliedmaßen sich ganz unzweideutig viele Veränderungen ergeben, die weitgehende Rückbildungen verraten. Was heute das Meer und unsere Süßwässer bevölkert, ist fast durchweg eine Schar Epigonen, die nur einen unvollkommenen Aufschluß geben über die ursprüngliche Beschaffenheit und die Anfänge der Heranbildung paariger Gliedmaßen. So kommt es, daß wir uns noch heute über die Entstehung der Extremitäten der Wirbeltiere in völliger Unkenntnis befinden und daß der Streit zwischen verschiedenen Meinungen und Hypothesen auf diesem Gebiete gar keine Aussicht auf baldige Schlichtung zeigt. Zwei große Deutungsversuche stehen schroff und unvermittelt einander gegenüber. Der eine sucht die paarigen Gliedmaßen unter einen Begriff mit den unpaarigen zu bringen. Die Engländer *Mivart* und *Balfour* waren ihre Vertreter.

Der andere Gedankengang rührt von *Gegenbaur* her, der eine Herleitung der Fischflosse von Kiemenbogenbildungen versuchte.

Die erstgenannte Theorie stützt sich in der Hauptsache auf die große Ähnlichkeit des Baues, der bei Fischen zwischen der großen unpaarigen Rücken und Schwanz umfassenden Flosse und der paarigen besteht: Hautfaltenbildungen sollten auf der Ventralfläche jederseits sich erstreckt haben, ähnlich wie sie sich tatsächlich beim Amphioxus als Metapleuralfalten finden, und dann in vordere und hintere Teile zerlegt worden sein. Die Ausdehnung der Flossenbildungen über eine große Zahl von Körpersegmenten bei manchen Fischen, wie bei Rochen, schien dieser Deutung günstig. Ein wichtiger physiologischer Gedanke läßt sich dieser englischen Hypothese nicht absprechen, nämlich daß die Gliedmaßen anfangs eine Art von Balanciereinrichtung gebildet hätten zur Erhaltung der Gleichgewichtslage des schwimmenden Organismus. Andrerseits ist bedenklich, daß gerade die Formen mit flächenhafter Ausbreitung der Flossen gar nichts Ursprüngliches darstellen, sondern wie die Rochen deutlich eine sekundäre Abplattung verraten.

Die andere Theorie kann wenigstens über ein größeres Material von Tierformen verfügen, die in Betracht kommen. *Gegenbaur* legte ein Hauptgewicht auf die Erklärung der Herkunft der gürtelförmigen Teile, an denen die „freien“ Gliedmaßen befestigt sind, des Schulter- und Beckengürtels. Er wies auf die Ähnlichkeit hin, die diese Bildungen mit den Kiemenbogen der Fische haben; fehlte doch sogar nicht das Homologen der freien Gliedmaßen, insofern die Kiemenbogen mit Strahlen besetzt sind, die die zur Atmung dienenden Hautfortsätze tragen. *Gegenbaur* stellte die Hypothese auf, daß die Zahl der Kiemenbogen anfangs eine größere war, und daß einige derselben einen Wechsel der Funktion erfahren haben. So wie der erste Kiemenbogen aus dem Dienst der Respiration in den der Nahrungsaufnahme getreten sei, so sollten hintere Bögen die Funktion der Fortbewegung des Körpers übernommen haben. Daher komme es, daß die vordere Gliedmaße immer direkt hinten an die Kiemenregion sich anschließt und zum Teil sogar aus Kopfnerven versorgt wird.

Für die hintere Gliedmaße freilich erwuchs nun die Schwierigkeit, annehmen zu müssen, daß dieselbe ihre Lage verändert und allmählich sich nach dem Kaudalende des Körpers verschoben habe. Eine scheinbare Stütze für die Möglichkeit solcher „Wanderung" konnten jene Knochenfische abgeben, bei denen sich die hinteren Gliedmaßen zwischen den vorderen ganz weit kopfwärts befinden.

Man muß aber ganz offen zugestehen, daß beide Theorien höchst unbefriedigend sind. Die erste Bedingung für einen Fortschritt bei so schwierigen Problemen ist die rückhaltslose Anerkennung, daß auf den bisher eingeschlagenen Wegen nichts Positives erreicht wurde und die Erwartung, daß möglicherweise die Lösung des Rätsels von einer ganz anderen Seite erfolgen werde. Wenn man schon an präexistierende Gebilde anknüpfen will, so bleibt ja noch anderes übrig als Kiemenbogen und unpaarige Gliedmaßensäume. Ich erinnere nur an Tentakelbildungen, wie sie sich am vorderen Ende beim Amphioxus befinden und offenbar auch den höheren Wirbeltieren eigen waren.

Das sind Anhangsorgane mit Skelettachse, die, im Dienst der Sinneswahrnehmung stehend, eventuell auch in den Dienst der Lokomotion treten konnten.

Bei manchen Formen, wie Protopterus, treten die Anfänge der Extremitäten tatsächlich als lange tentakelähnliche Fäden auf, die gar keine andere Leistung als die der Orientierung über die Körperlage, also im Sinne der Balancierung der Gleichgewichtslage haben können.

Auch bei Amphibien erinnern die ersten Anlagen der Gliedmaßen an solche Balancierfäden. Ich will nun durchaus nicht damit eine neue Theorie der Herkunft der Gliedmaßen aufstellen, aber doch zeigen, daß die Möglichkeiten für ihre Erklärung noch nicht erschöpft sind.

Eine Tatsache muß jedenfalls durch eine Theorie des Urzustandes der paarigen Extremitäten unbedingt klargestellt werden, wenn dieselbe überhaupt Anerkennung finden will, nämlich die Existenz vorderer und hinterer Gliedmaßen. Dieselbe ist bei landbewohnenden Formen verständlich durch die Arbeitsteilung der Brust- und Beckenextremitäten, aber bei Fischen nicht. In der Tat muß bei diesen der Verdacht entstehen, den *Simroth* bekanntlich in extremer Form zum Ausdruck gebracht hat, daß ihre ältesten Vertreter in nahverwandtschaftlicher Beziehung zu Landtieren standen und von dieser gemeinsamen Wurzel aus die beiden Extremitätenpaare übernahmen.

Vermittelnde Zustände sind insofern denkbar, als die primitivsten noch heute lebenden Fische tatsächlich den Amphibien am nächsten stehen. Aus der Welt vergangener Formen ragen die Dipnoer und die Ganoiden in die Gegenwart hinein, gleich lebenden Fossilen, wie *Darwin* sie geistreich genannt hat. Gerade diese uralten Fische haben eine Schwimmblasenlunge und erinnern im Bau ihrer inneren Organe vielfach ganz merkwürdig an Landwirbeltiere. Es läßt sich daher tatsächlich die Idee verteidigen, daß die Mehrzahl der Fische sich sekundär einem ausschließlichen Wasser-

aufenthalt angepaßt hat, während die Sonderung von Wasser- und Landwirbeltieren bereits in einer ganz weit zurückliegenden Zeit erfolgte, wahrscheinlich in einem Medium, wie es etwa flache Küstengewässer oder im Meer schwimmende Wälder der Steinkohlenperiode darboten, wo der Wechsel von Luft- und Wasseraufenthalt viel leichter vor sich gehen konnte als in den heutigen Meeren.

Diese ältesten Fischformen sind es daher, denen sich die Erforschung der Geschichte der Gliedmaßen mit ganz besonderem Interesse zuwenden wird.

Da finden wir unter den Dipnoern jene sonderbare Form eines australischen Fisches, den Ceratodus, der erst vor vier Jahrzehnten entdeckt wurde und bei seiner Auffindung die Vergleichung mit ausgestorbenen Fischen der Triasperiode Europas erforderlich machte — ein uraltes Relikt, das sich nur noch in zwei Flüssen an der Ostküste von Australien erhalten hat. Dieses Tier, das Lungen besitzt außer seinen Kiemen und dessen durch *Semon* erfolgreich studierte Entwicklung weit mehr einem Molch gleicht als einem gewöhnlichen Fisch, besitzt Gliedmaßen, die in der Geschichte der Morphologie eine geradezu klassische Bedeutung erlangt haben.

Es war gerade in jener Zeit in den siebziger Jahren, da *Gegenbaur* auf Grund seiner Kiemenbogentheorie versucht hatte, eine Urflosse, das Archipterygium aufzustellen in Form eines Knorpelstrahles, der mit Nebenstrahlen besetzt ist, als jener australische Fisch bekannt wurde und in seinen Flossen ganz auffallend den Befund zeigte, den der geniale Morphologe vorausgesagt und theoretisch konstruiert hatte als Urform, von der aus man nach verschiedenen Richtungen hin die Flossenstrahlenskelette der anderen Fische, namentlich der Selachier oder Haifische und der Ganoiden, ableiten konnte.

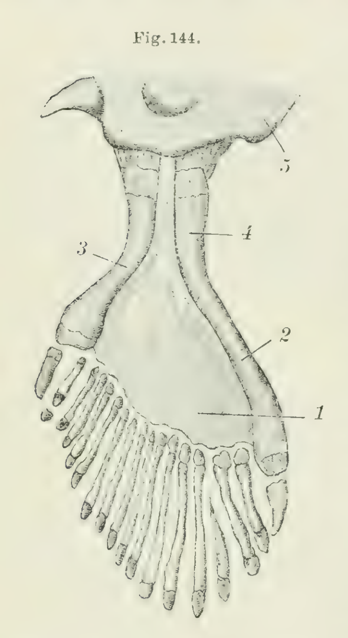
Die reiche Formenwelt der letzteren oder Schmelzfische — sogenannt von ihrem schmelzbedeckten glänzenden Schuppenpanzer — die in früheren Erdperioden herrschend waren, bis sie von den leichtgepanzerten Knochenfischen abgelöst wurden, zeigt in ihrem älteren, durch Versteinerung wohl erhaltenen Vertretern solche Archipterygiumflossen. Nur ist der Achsenstrahl nicht ein schmaler Stab, wie bei Ceratodus, sondern wird durch eine breite knorpelige Platte dargestellt, die in ihrem rundlichen freien Rande mit Strahlen besetzt ist.

Solche breite Flossenbildungen haben sich unter den spärlichen heute noch lebenden Vertretern der Ganoiden erhalten, bei den sogenannten Crossopterygiern, den Dickflossern, wie sie eben auf Grund dieser ihrer Gliedmaßen genannt worden sind. Es leben nur noch zwei Vertreter dieser einst so gewaltigen Tiergruppe — Polypterus und Calamoichthys, beide in Afrika, der erstere in Flüssen, der andere in der Bucht von Kamerun, eine ganz außerordentliche Rarität bildend.

Es gelang mir vor 15 Jahren, zwei Exemplare dieses seltenen Fisches zu erwerben, wodurch ich in die Lage versetzt wurde, die sehr inter-

essante Brustflosse dieser Tiere mit der von Polypterus, der nicht so selten ist, sowie mit allen anderen Fischflossen und den Landgliedmaßen zu vergleichen. Die Resultate dieser sehr ausgedehnten und schwierigen Untersuchung wurden in der Festschrift zu *Gegenbaurs* 70jährigem Jubiläum niedergelegt [1]) und fanden um dieser Art der Publikation willen nicht die nötige Beachtung von Seiten der Fachgenossen. Erst in neuester Zeit hat sich *Lubosch* [2]) die Mühe gegeben, die Ergebnisse meiner Studien einer Prüfung zu unterziehen, wobei er, von einigen Modifikationen abgesehen, zu einem zustimmenden Ergebnisse kam in dem Sinne, daß unter allen Fischflossen diejenige der Crossopterygier die meisten Anklänge an die Landgliedmaßen darbietet.

Fig. 144.



Skelett der Brustflosse — „Crossopterygium" — des Ganoiden Polypterus bichir linkerseits von der medialen Fläche her gesehen. *1* Mesopterygium, Knorpelplatte mit einer Ossifikation, *2* Metapterygium, *3* Propterygium, *4* Teil von *2* sich dem proxymalen Teil von *3* nähernd, entsprechend dem Stylopodium der Landwirbeltiere, *5* Schultergürtel. Am Rand des Mesopterygiums die Endstrahlen oder Actinalia. An den Rändern in der Verlängerung von Meta- und Propterygium die Epimarginalia, die dem Präpollex und Postminimus entsprechen. Etwas vergrößert. Abbildung aus *Klaatsch* l. c.

Der Bau der Crossopterygierflosse ist im Prinzip folgender: An den Schultergürtel stoßen drei Gebilde an, eine mittlere knorpelige Platte und zwei den Rändern derselben anliegende längliche Stücke, die von ähnlichen, am freien (distalen, vom Körper mehr entfernten) Rande befindlichen Strahlen sich nur durch ihre Größe unterscheiden. Die Randgebilde zeigen eine knorpelige Unterlage, auf der sich Knochengewebe als umhüllende Substanz gebildet hat (Fig. 144).

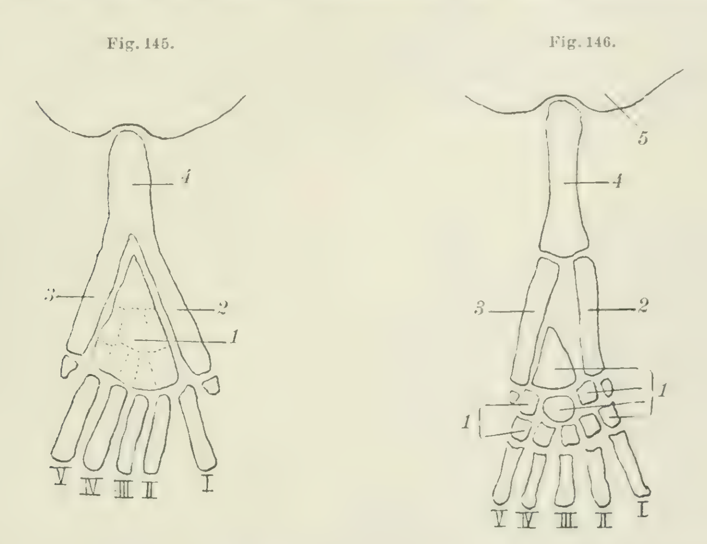
An diesen sind die Flossenstrahlen, die den Hautsaum stützen, befestigt. In diesen Hautsaum treten die sehnigen Ausläufer der mächtigen Muskelmassen, die die beiden Flächen der Flosse decken, teils von diesen selbst, teils vom Gliedmaßengürtel entspringend. Die Verschiedenheiten innerhalb des rezenten Materials, die zwischen Calamoichthys und Polypterus bestehen, sowie die individuellen und ontogenetischen Unterschiede der Einzelbefunde gestatten die Aufstellung einer Reihe, die das Hervorgehen der Flossen der jetzt noch lebenden Crossopterygier aus denen der fossilen, von denen Undina besonders gut bekannt ist, gestatten. Die Hauptzüge der Ableitung des Crossopterygiums vom Archipterygium hatte *Gegenbaur*

---

[1]) *H. Klaatsch,* Die Brustflosse der Crossopterygier. Ein Beitrag zur Anwendung der Archipterygiumtheorie auf die Gliedmaßen der Landwirbeltiere. Festschrift für *Carl Gegenbaur.* Leipzig 1896. S. 261—390 mit Tafel I—IV und 42 Figuren im Text.

[2]) *W. Lubosch,* Bau und Entstehung der Wirbelgelenke. Jena 1910.

bereits in einer 1894 erschienenen Mitteilung skizziert.[1]) Er zeigte, daß die Mittelplatte, das Mesopterygium, der Achse des Archipterygiums entspricht und daß der Randbesatz von Strahlen aus dem zweireihigen (biserialen) Besatz dadurch entstanden ist, daß die am meisten proximal abgehenden sich vergrößert haben. Ich habe dieselben die Marginalia genannt zum Unterschied von den kleinen distal gelegenen Actinalia. In der Ruhelage, wenn die ganze Flosse dem Körper seitlich anliegt, lassen sich die beiden Marginalia als ein dorsales Stück oder Propterygium und ein ventrales oder Metapterygium unterscheiden. Die dem Antipterygium ent-



Schemata zur Ableitung der Landgliedmaßen des Cheiropodiums von einem dem Crossopterygium ähnlichen Vorfahrenszustande.
Die Bezeichnung entspricht jener der Fig. 144.
1 Mesopodium = Anlage der Handwurzel, Carpus.
2 Metapodium = Radius.
3 Propodium = Ulna.
4 Stylopodium aus Verschmelzung der proximalen Teile von *2* und *3* entstanden gedacht.
I—V Actinalia = Metacarpalia,
I = Daumenstrahl oder Pollex.
Die Zerlegung der Handwurzel in ihre Elemente ist schematisch angedeutet. Zu beachten ist die Einschiebung des Intermediums in Fig. 146 zwischen die Marginalia (Vorderarmstücke) entsprechend der ursprünglichen Lage des Mesopodiums oder Mesopterygiums.

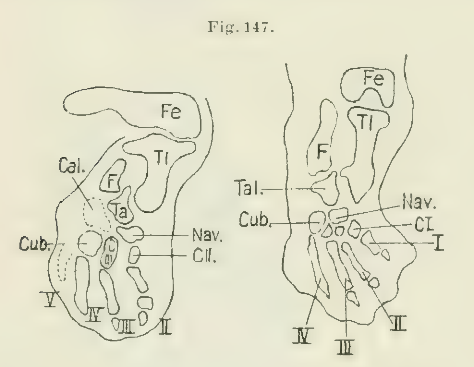
sprechende Achse verläuft in der Nähe des Metapterygium und der Besatz der Actinalia läßt eine Sonderung in eine kleine Anzahl, meist zwei ventraler, und eine größere, 8—12 dorsaler Strahlen erkennen.

Ich konnte nun zeigen, daß innerhalb des Crossopterygiermateriales sich eine Entwicklungsrichtung kundgibt, die zu einer proximalen Verschmelzung der beiden Marginalia führt und damit ein knorpeliges Stielgebilde hervorgehen läßt, das die ganze Gliedmaße trägt (Fig. 145 u. 146).

[1]) *C. Gegenbaur,* Das Flossenskelett der Crossopterygier und das Archipterygium der Fische. Morpholog. Jahrb., 1894, 1, XXII. Bd.

Damit ist ein Zustand erreicht, der in seinem Grundplan ganz auffallend demjenigen der Landgliedmaßen, des Cheiropodiums, gleicht. Die Parallelisierung der beiden Randstücke mit den beiden Knochen des Vorderarmes resp. des Unterschenkels ist das Erste, was sich aufdrängt; man hat für diese Stücke als eine für vordere und hintere Gliedmaßen gemeinsam geltende Bezeichnung den Terminus Zygopodium vorgeschlagen, für das durch Humerus resp. Femur gegebene Steilstück das Wort Stylopodium. Die stammesgeschichtliche Ableitung des letzteren aus einer proximalen Verschmelzung des Zygopodiums hat mehr Beifall gefunden (cf. *Lubosch*) als der von *Emery*[1]) gemachte Versuch, den Humerus und Femur als ein vom Gliedmaßengürtel losgelöstes Stück zu deuten. Sind einmal diese Bezeichnungen angenommen, so ergibt es sich von selbst, daß das Mesopodium dem Carpus- resp. Tarsuskomplex der Landwirbeltiere entspricht, die Actinalia aber den Metacarpus- resp. Metatarsusstücken. Eine ausführliche Ausdehnung dieser Vergleichung auf Muskulatur und Nerven, für die ich auf mein Originalwerk verweisen muß, hat die Zulässigkeit der angestellten Vergleichung nach allen Richtungen hin erwiesen. Es finden aber auch einige spezielle Punkte, die am Skelett der Landwirbeltiere bisher ganz unverständlich waren, auf diesem Wege befriedigende Aufklärung. Den Actinalien sitzen kleine Knorpelstückchen an, die ich Epactinalia genannt habe. Da nach meiner Lehre die Marginalia den Actinalia entsprechen, so müssen auch diese die entsprechenden Knorpelstückchen besitzen, die auch tatsächlich als Epimarginalia bei Colamoichthys und Polypterus sich finden. Sie sitzen dorsal und ventral neben den Actinalien, genau so, wie an den Gliedmaßen der Landwirbeltiere jene kleinen Skelettstückchen, die als Präpollex und Postminimus in der Literatur eine so große Rolle gespielt haben, indem sich der Streit darum drehte, ob dieselben als Rudimente von Fingern zu deuten seien oder nicht. *K. v. Bardeleben*[2]) hat sich besonders dieser kleinen Skelettstückchen ange-

Fig. 147.



Zwei Schnitte durch die Anlage der hinteren Extremität bei einem jungen menschlichen Embryo (zweiter Monat). Der Talus *(Tal.)* entspricht dem Intermedium der Hand und schiebt sich zwischen die Skeletteile des Zygopodiums in gleicher Weise ein, wie es beim Mesopterygium der Fall war.
Nach *Henke* und *Reyher*, Studien über die Entwicklung der Extremitäten des Menschen. Sitzungsber. der k. Akad. d. Wissensch. Wien 1814. Bd. LXX.

[1]) *Emery*, Études sur la morphologie des membres des Amphibiens et sur la phylogenie du Cheiropodium. Archives italiennes de Biologie, T. XXII, 1894. — Derselbe, Über die Beziehungen des Cheiropterygiums zum Ichthyopterygium. — Derselbe, Zur Morphologie des Hand- und Fußskeletts. Anat. Anz., X, 1890.

[2]) *K. v. Bardeleben*, Hand und Fuß. Referat, erstattet auf der achten Versammlung der Anatomischen Gesellschaft zu Straßburg 1894. Jena 1894.

nommen. Wenn auch seine Deutung derselben als Finger sich nicht bestätigt, so liegt doch in der stammesgeschichtlichen Deutung die Anerkennung, daß es Teile von Strahlen und somit vollberechtigte normale Bestandteile des Skeletts von großer morphologischer Bedeutung sind, nicht Sesambeine oder dergleichen, wie manche Anatomen meinten.

Bei der gänzlich isolierten Stellung der Crossopterygier können wir nicht erwarten, daß dieselben direkt in die Vorfahrenreihe der Landwirbeltiere gehören. Ich betrachte sie als einen der Parallelzweige, von denen viele existiert haben mögen, die uns weder fossile Spuren, noch lebende Nachkommen hinterlassen haben.

Darum kann natürlich von einer direkten Ableitung des Cheiropodiums aus dem Crossopterygium gar nicht die Rede sein.

Der Jugendzustand von Calamoichthys zeigt sogar mehr Anklänge an die höheren Formen als die ontogenetisch älteren Stadien.

Wohl aber darf man von einer Crossopterygierstufe als Vorfahrenstadium sprechen.

Die Hauptänderungen, die von dort zur Urform des Cheiropodiums führen, sind folgende: Beschränkung der Zahl der Actinalia. Vergrößerung und Abgliederung des Stylopodiums vom Zygopodium. Relative Verkleinerung des Mesopodiums und Zerfall der Knorpelplatte in die einzelnen, durch die Ossifikation bedingten Elemente von Carpus und Tarsus. Schwund des Hautsaumes und Ausdehnung der Epactinalia zu Phalangen mit Abgliederung derselben innerhalb der einzelnen Strahlen; Entfaltung horniger Hartgebilde an den Randteilen. Entstehung von Nagelbildungen.

Es liegt nahe, anzunehmen, daß diese Änderungen mit dem Übergang zum Landaufenthalt und zur Luftatmung sich vollzogen, aber einen Einblick in den Modus derselben haben wir vorläufig nicht. Die Landwirbeltiere weisen trotz sonstiger Differenzen zwischen Reptilien und Säugetieren bezüglich der Hand auf eine sehr scharf geprägte, einheitliche Wurzel hin. Haben wir bereits oben die Ausprägung nicht nur der Pentadaktylie, sondern auch der Besonderheit des I. Strahles betont, so können wir nun fragen, ob die Fischstufe diese charakteristischen Punkte vorbereitet. Das ist nun allerdings der Fall. Die beiden Marginalia entsprechen den Teilen des Zygopodiums so, daß das ventrale Metapterygium dem Radius, das dorsale Propterygium der Ulna gleichzusetzen ist. Die Berechtigung dieser Vergleichung ergibt sich aus der Betrachtung der Amphibiengliedmaßen, wenn dieselben dem Körper seitlich angelagert sind, der Ruhelage des Crossopterygiums entsprechend. Nun sehen wir, daß die alte Achse nahe dem metapterygialen Rande liegt, es werden daher eine kleinere Anzahl radialer von einer großen Anzahl ulnarer Strahlen zu unterscheiden sein. Die alte Achse liegt in der Gegend des II. Strahles, des Index an der Hand. Somit ist die Verschiedenheit der Ränder keine Neuerwerbung, sondern eine uralte, bis aufs Archipterygium zurückgehende Einrichtung. Die gar nicht seltene Verdoppelung des Daumens beim Menschen sowohl wie bei niederen Wirbeltieren (Amphibien) ist vielleicht als Erinnerung an eine alte Vor-

fahrenstufe aufzufassen. Vielleicht gehört auch manches von Polydaktylie in dieses Gebiet, aber sicher und notwendig ist das nicht: ebenso berechtigt ist die Annahme ganz sekundärer pathologischer Erscheinungen partieller Doppelmißbildung.

Als Grund für die so überaus scharfe Prägung der Pentadaktylie deutete ich oben schon an die Idee, daß bei der zweifellosen Ausbildung als Greiforgan mehr als vier Finger für die Gegenüberstellung gegen Pollex und Hallux keinen irgendwie nützlichen Zustand bedeuten würden.

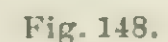
Von diesem Urtypus der Landwirbeltiere sehen wir eine direkte Bahn zum Menschen verlaufen, dessen Hand noch in ihren Drehbewegungen, der Supination und Pronation an die alten Flossenbewegungen erinnert. Manche andere Formen haben ebenfalls einen annähernd ähnlich primitiven Zustand der Hand sich bewahrt.

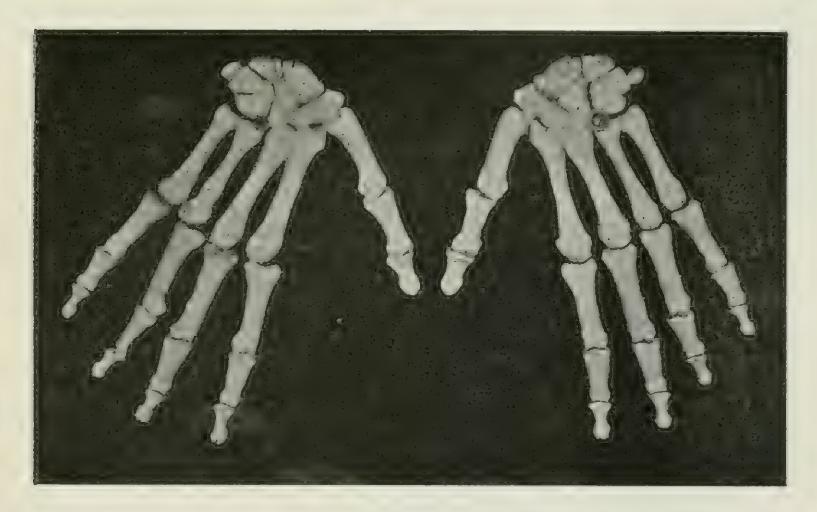
So einige der größeren Reptilien der Vorzeit, die daher eine auffällige Ähnlichkeit mit der Menschenhand erkennen lassen. Namentlich unter den Dinosauriern, die auch durch ihren halbaufrechten Gang an manche Säugetiere erinnern, finden sich solche Menschenhände. Die Iguanodonten — jene 5 *m* hohen Eidechsen, deren Ausstellung im Brüsseler Museum ein einzigartiges Schaustück bildet, lassen eine Sonderung der Hand in einen mittleren Abschnitt und zwei Randpartien erkennen, die dem kleinen Finger und dem Daumen entsprechen. Der letztere erlangte hier durch einen Stachel, den er trug, eine eigenartige Bedeutung als Waffe — vermutlich der männlichen Tiere.

Daß die Endabschnitte der vorderen Gliedmaßen aller Säugetiere einen mit der Menschenhand gemeinsamen Grundplan darbieten und daß sie in allen ihren Verschiedenheiten Variationen dieses Planes nach den verschiedenen Richtungen in Anpassung an ihre Leistungen darstellen, bildete ein Hauptthema der morphologischen Erforschung der Säugetiere. Auffälligerweise aber ging man hierbei einer einfachen logischen Konsequenz aus dem Wege, die für die Beurteilung der Stellung des Menschen in den Vordergrund hätte gerückt werden sollen, nämlich daß die Vorfahren aller dieser einseitig gestalteten Formen sich bezüglich ihrer Hand ganz menschenähnlich verhalten haben müssen. Die Notwendigkeit dieses Schlusses wird einleuchtend durch die neueren Funde der Paläontologie, die die Ergebnisse der morphologischen Forschung ergänzen, indem sie für die geologisch älteren Vertreter der heutigen Huftiere und Raubtiere tatsächlich eine menschenähnliche Hand nachweisen. Solche ältere Zustände in Vergleichung mit den heutigen Carnivoren bieten die „Creodonten" der Tertiärperiode dar. An Stelle der „Tatze" sehen wir hier eine Hand mit wohlgebildetem Daumen. Vergleicht man damit den Befund, z. B. bei einem jetzigen Vertreter des Katzengeschlechtes, so findet man an der Stelle, die dem menschlichen Daumen entsprechen würde, einen kurzen Anhang, der mit einer mächtigen Kralle versehen ist. Durch seine abgesonderte Stellung unterscheidet sich dieser Finger deutlich von den übrigen, daß er aber tatsächlich ein dem menschlichen durchaus gleichendes Vorstadium

besessen hat, lehrt erst der Fossilbefund bei solcher alten Form, wie z. B. Patriofelis. Hier stimmt der Skelettbau bis in alle Einzelheiten mit dem der Menschenhand überein (Fig. 148). Die Knochen der Mittelhand zeigen elegantere Formen und stehen weniger gedrängt als an der Tatze der heutigen Raubtiere. Am zweiten bis fünften Finger finden sich die typischen „Phalangen" in der Dreizahl, ihre Proportionen sind noch nicht durch Anpassung an mächtige Krallenbildungen modifiziert (Fig. 149, 150).

Der erste Strahl, der Daumen, hat wie auch beim Menschen nur 2 Phalangen. Zu dieser Übereinstimmung der Strahlen gesellt sich die primitive Beschaffenheit der kleinen Skelettstücke, die die Handwurzel oder den „Carpus" zusammensetzen. Auf Grund von *Carl Gegenbaurs*[1]) bahnbrechenden Untersuchungen ergab sich die vollkommen gesetzmäßige


Fig. 148.



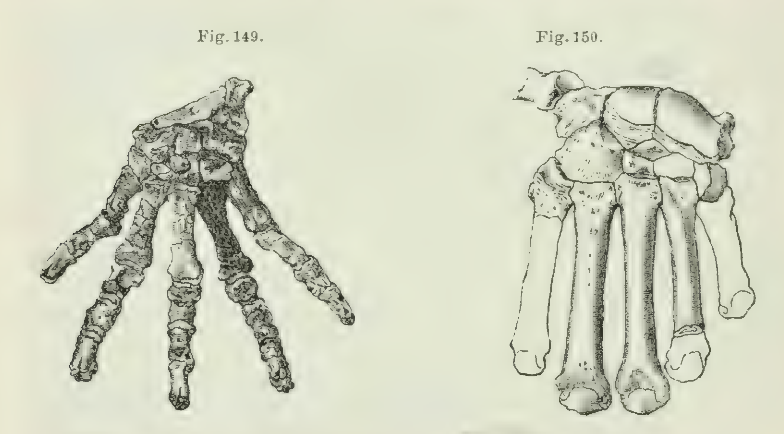
Handskelett des Menschen. *Klaatsch* photogr. nach Original, Anatomie Berlin.

Gestaltung dieser die Strahlen tragenden Platte für alle Landwirbeltiere. Die Knochenbildung in der ursprünglich einheitlichen Knorpelplatte des Mesopodium hat bei der Urform aller Amphibien, Reptilien und Säugetiere fünf Randstücke entstehen lassen, die den Strahlen entsprechen, die „Carpalia", die entsprechend den Fingern vom Innen- oder Vorderwand aus gezählt werden als Carpale I, II, III, IV, V. Man nennt diese Knochenreihe die distale und die proximale nach den oben schon benutzten und für die Lagebestimmung an Gliedmaßen allgemein üblichen Bezeichnungen, der Annäherung an den Körper oder der Entfernung von demselben entsprechend. Die Randstücke der proximalen Reihe nannte *Gegenbaur* nach den (s. o.!) Teilen des Zygopodiums Radius und Ulna—Radiale

[1]) *Gegenbaur*, Untersuchungen zur vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere. I. Corpus und Tarsus. Leipzig 1864.

und Ulnare. Zwischen ihnen entwickelt sich ein „Os intermedium". Zwischen den drei proximalen und den fünf distalen Stücken liegt ein Stück in vollkommen zentraler Lage, daher „Centrale carpi" genannt. Von diesem bei Amphibien, Schildkröten und manchen Säugetieren, wie auch den fossilen Raubtieren noch vollständig primitiv erhaltenen Zustande aus lassen sich alle jene mannigfaltigen Befunde der Handwurzel ableiten, die sich genau entsprechend der Umgestaltung und einseitigen Verwendung der Hand, zum Laufen, Graben, Fliegen etc. herausbilden.

Daß die menschliche Embryonalhand noch den Urzustand rein erhalten hat, wurde durch die Untersuchungen *Rosenbergs* erkannt, der das „Centrale carpi" beim menschlichen Embryo suchte und fand (Fig. 142). Auch beim Erwachsenen kann dasselbe bisweilen noch vollkommen frei erhalten sein, in der Regel aber verschwindet es, indem es sich mit dem Radiale so fest verbindet, daß es als gesondertes Skelettstück nicht mehr



Handskelette fossiler Carnivoren der tertiären Creodonten (Eocän), Oxyäna und Patriofelis, um die Menschenähnlichkeit mit den rezenten Formen zu zeigen.

nachweisbar ist. Diese Verschiebung des Centrale nach der Radialseite hin hängt zusammen mit der Bedeutung der letzteren als der Trägerin des opponierbaren Daumens. Der fundamentale Unterschied in dem Wesen der Randteile der Landgliedmaßen ergibt sich schon aus der Verschiedenheit der beiden Vorderarmstücke untereinander.

Ihre Leistung ist eine gesonderte. Der eigentliche Träger der Hand ist der Radius, er stellt eine Art drehbaren Stieles dar, der sich um die Ulna zu bewegen vermag, die ihrerseits die Aufgabe einer gesicherten Verbindung mit dem proximalen Stielteil des ganzen Armes, dem Humerus-Oberarmknochen zu erfüllen hat. Daß nun der Radius in direkter lokaler Beziehung mit dem ersten Strahl, dem Daumen, steht, das bestätigt aufs neue die fundamentale Bedeutung des letzteren: Die Funktion der Hand als eines Greiforganes ist das Ursprüngliche und beherrscht daher die ganze anatomische Anordnung der Teile, der Knochen nicht nur,

sondern auch der Muskeln, die jene noch an die Flossenbewegungen erinnernden Drehungen der Hand bewerkstelligen.

Bei der großen Mehrzahl der Säugetiere ist dieser alte Zustand verloren gegangen. Nur eine Gruppe gibt es, die die Hand in einer ganz auffällig vortrefflichen Weise sich bewahrte, es sind die sogenannten „Halbaffen“ oder „Prosimiae“, Formen, die auch sonst viel Altertümliches bewahrt haben (Fig. 151). Ihre Menschenähnlichkeit erschien *Linné* so bedeutend, daß er sie mit Mensch und Affen als Primaten zusammenfaßte. Ich habe vorgeschlagen, den Ausdruck „Primatoiden“ zu wählen, für die Halbaffen nicht nur, sondern auch für die fossilen Vertreter heutiger Säugetierabteilungen, soweit sich dieselben noch im Besitz derjenigen Merkmale befinden, die bei den Primaten fortgeführt werden. Die „Prosimiae“ haben keine spezielle Verwandtschaft mit Affen, wie der Name vielleicht glauben machen könnte, ihre Ähnlichkeit mit denselben beruht auf deren gemeinsamen Besitz primitiver Merkmale. In der frühesten Zeit der Tertiärperiode, dem Eocän, befand sich ein großer Teil der Vorfahren der jetzigen Säugetiere auf einem ähnlichen Niveau und dokumentierte eben noch die Menschenverwandtschaft, die seitdem verloren ging oder undeutlicher wurde.

Fig. 151.

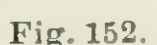


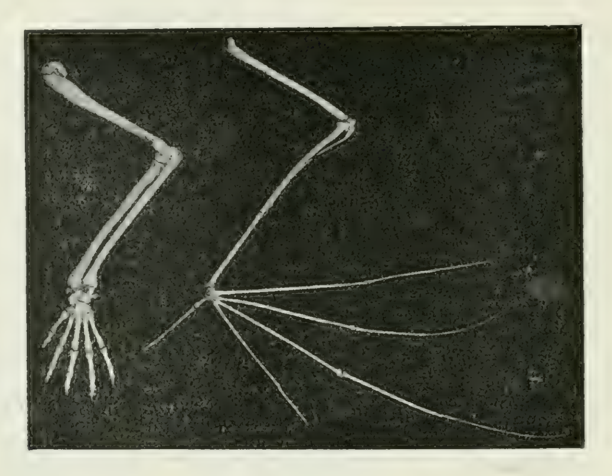
Hände (oben) und Füße (unten) von einem Halbaffen oder Prosimiae. *Klaatsch* photogr. nach Original im Berliner Museum für Naturkunde.

Für den Umwandlungsprozeß, den die Mehrzahl der Säugetiere in ihren Gliedmaßen erfahren hat, können die Prinzipien des Kampfes ums Dasein in mancher Hinsicht erfolgreich verwertet werden. Man wird dabei aber zweifeln können, ob diese einseitigen Umgestaltungen als „Vervollkommnungen“ im allgemeinen Sinne bezeichnet werden dürfen. Wohl sind sie es im speziellen Sinne — es sind Opfer, gebracht im Kampf ums Dasein und insofern nicht umsonst gebracht, als sie ihren Trägern durch spezielle Anpassungen an bestimmte Arten des Lebens, der Bewegung, der Ernährung, die Garantie der Existenz boten auch unter den schwierigen Verhältnissen, welche durch die enorme Entfaltung der Säugetierwelt während der Tertiärperiode hervorgerufen wurden. Es war

die Konkurrenzzuchtwahl, die die einzelnen Gruppen nötigte, sich einem bestimmten Modus anzupassen — damit aber war unweigerlich der Weg zu anderen Entwicklungsbahnen abgeschnitten.

Jede Spezialisierung in einer Richtung bedingt ein Aufgeben von Entfaltung nach anderen Richtungen. Dieses Prinzip, das wir durch uns selbst, durch die Berufswahl und die Konzentrierung des Interesses auf bestimmte Gebiete so leicht illustrieren können, ein Prinzip, das zum Hervorbringen großer Leistungen notwendig erscheint, dasselbe beherrscht die Umgestaltungen der Hand in der Säugetierreihe. Die Einzelheiten dieser Umwandlungen sind bekannt, wir wollen daher hier nur die Tatsache konstatieren, daß trotz derselben noch in der Pfote des Maulwurfs, wie in dem Flügel der Fledermaus, wie im Bein der Huftiere


Fig. 152.



Links Armskelett eines Affen (Cebus), rechts das einer Fledermaus, um die Veränderungen der Handskelette bei Ausbildung der Flughaut zu demonstrieren. *Klaatsch* photogr. nach Original im Berliner Museum für Naturkunde.

der alte Zustand sich erkennen läßt und daß oft genug auch noch die Besonderheit der Radialdaumenseite unverkennbar ist, wenn nur der geschärfte Blick des Morphologen sich darauf richtet. Dem Beispiel, das wir oben für die Tatze der Katzen oder Feliden schon gebracht haben, seien nur einige wenige beigefügt. Der Fledermausflügel wird gestützt durch die enorm verlängerten Metacarpal- und Phalangenknochen der Strahlen, unter denen der erste sich ganz deutlich markiert, indem er stark von den andern divergiert und durch Stellung und Kürze sich als Daumen offenbart. Bekannt ist allgemein wohl, daß jener eigentümliche, rauhe, narbenähnliche Fleck, den man am Bein des Pferdes auf der Innenfläche wahrnimmt, nichts anderes ist, als der Rest des Nagels resp. Hufes des ersten Strahles des Daumens (und der großen Zehe). Als einen „Vor-

fahrenstempel" könnte man dieses Gebilde bezeichnen, eine unauslöschbare Erinnerung an primatoide Ahnen!

In der Zeit der ersten Anwendung der *Darwin*schen Ideen auf die Umwandlung der Tiere spielte der Stammbaum des Pferdes eine große Rolle. Man war froh, an einer bestimmten Gruppe den Connex der einzelnen Glieder einer Reihe vom fünfstrahligen Phenacodon durch Orohippus, Miohippus überhaupt verfolgen zu können. Die Idee der Zuchtwahl trat dabei in den Hintergrund, aber man gab sich auch nicht Rechenschaft darüber, ob denn hier eine Vervollkommnung durch Überleben der Passendsten vorliegt. Heute gehen wir darin mehr konsequent vor.

Dieses Kampfprinzip erscheint als ein ruinierendes Element, insoferne es die Entwicklungsfähigkeit aufhebt — alle diese einseitig umgestalteten Formen bezeichnen Sackgassen — und es muß gerade als ein Hauptpunkt der Menschwerdung bezeichnet werden, daß unsere Ahnenreihe glücklich den Segnungen des Kampfprinzipes entging.

Daß der Mensch seine Hand behielt, so einfach die Tatsache als solche erscheint, muß nahezu als ein Wunder erscheinen. Wie unendlich leicht hätte das Schicksal, die Not, die tausendmal den verwandten Formen den Anstoß zur Umbildung gab, die gesamte Primatenwelt ohne Ausnahme in ihr erbarmungsloses Getriebe zwingen können. Nach den Prinzipien der Wahrscheinlichkeitsrechnung dürften theoretisch die Chancen minimal sein, daß eine so zarte und leicht modifizierbare Einrichtung, wie die Greifhand sich seit unendlichen Zeiträumen durchrettet, um durch die Kombination mit einer ganz anderen Einrichtung, nämlich der ungeheuren Entfaltung des Zentralnervensystems, eine einzigartige Bedeutung zu gewinnen.

Diese Kombination ist der Zentralpunkt des Rätsels der Menschwerdung. Wohl hat auch der Halbaffe die Hand behalten, aber sein Kopf hat anderweitige Umgestaltungen erfahren, die eine menschliche Kombination von Gehirn und Hand ausschließen.

Wie groß die Gefahr gewesen ist, daß auch der letzte Rest des primatoiden Urstocks der Säugetierwelt des Kulturorganes beraubt würde, lehrt die Betrachtung der uns nächst verwandten Formen, der Affen und besonders der Menschenaffen.

Der Mensch ist in der Tat der einzige Primate, der den Daumen in voller Ausbildung behalten hat. Freilich kommt der Gorilla ihm recht nahe, aber doch ist unverkennbar, daß der Daumen bereits eine absolute und relative Verkürzung erlitten hat. Die Hand des Gorilla ist als solche, wie schon *Th. Huxley* betont, ganz unverkennbar, aber die Finger vom II. bis V. sind untereinander durch eine ziemlich starke Schwimmhaut verbunden, jene Membran, die ja auch beim Menschen, besonders dem Embryo, sich findet, so daß die Einzelbewegungen gehemmt werden. Die Faust des Gorilla ist eine furchtbare Waffe geworden, eine Ohrfeige damit kann tödliche Folgen haben. Man muß die enorme Größe der Armknochen sehen, um zu begreifen, daß hier der Kampf ums Dasein und zugleich auch die sexuelle Zuchtwahl den Arm zum Kampforgan gestaltet haben.

Wird der Gorilla gereizt, so trommelt er mit den gewaltigen Fäusten die mächtige Brust und wehe dem Gegner, den sein Arm erreicht. Daß er imstande sein soll, mit seinen Händen einen Gewehrlauf zu knicken, erscheint bei schlechter Qualität des letzten gar nicht so unmöglich. Die Schilderungen von *Du Chaillu* über den Affenherkules, wie *Heck*[1]) den Gorilla einmal sehr treffend bezeichnet hat, wurden für übertrieben gehalten, aber die Angaben von *v. Koppenfels* bestätigten die enormen Kraftleistungen dieser Riesenprimaten. Das Greifvermögen der Gorillahand ist keineswegs aufgehoben. Er kann Stöcke und Steine fassen und sich auch damit verteidigen.

Als Anzeichen dafür, daß innerhalb des Gorilla-Materials Anfänge der Umgestaltungen auch anderer Finger als des Daumens auftreten, möchte ich ein eigentümliches Verhalten des III. Metacarpalknochens ansehen, das ich an zwei Exemplaren der hiesigen anatomischen Sammlung, und zwar einem männlichen und einem weiblichen, ausgeprägt fand. Das Os metacarpi tertium ist verschmälert, ganz besonders an seinem Capitulum, das zwischen den starken Köpfchen der benachbarten Stücke eingekeilt erscheint; besonders an dem männlichen Exemplar ist der Metacarpalknochen des Index durch bedeutende Mächtigkeit ausgezeichnet. In beiden Geschlechtern ist der dritte Metacarpalknochen etwas verkürzt, während die Phalangen nicht hinter den anderen zurückstehen: die Grundphalange der III. ist sogar breit ausgebildet. Bei Mann und Weib zeigt die Dorsalfläche des IV., beim Manne auch des II., eine deutliche Abplattung, während dieser Teil am III. durch eine besonders beim Weib markierte Verschmälerung ausgezeichnet ist.

An dem Material, das ich sonst vom Gorilla gesehen habe, an den Museen von Stuttgart, Berlin, Lübeck, Frankfurt u. a., habe ich eine solche Anomalie bisher nicht beobachtet.

Die Vergleichung des ganzen Armskeletts vom Gorilla mit Mensch ergibt eine außerordentlich große Ähnlichkeit des ersteren mit jenem Typus, der als Neandertalrasse nun allgemein anerkannt ist. In meinen Arbeiten über die fossilen Menschenrassen[2]) habe ich den Beweis für die Richtigkeit der Annahme einer relativ nahen verwandtschaftlichen Beziehung der fossilen Neandertalmenschen mit den afrikanischen Riesenaffen ganz ausführlich erbracht. Wenn diese meine Ansichten heute noch nicht allgemein von den Fachkollegen angenommen sind, so liegt dies hauptsächlich daran, daß manche mit den morphologischen Besonderheiten des Extremitätenskeletts sich noch nicht genügend vertraut gemacht haben. Die Tatsachen, die ich mit exaktesten Methoden, u. a. mit Hilfe der diagraphischen Technik an den Humerus, Ulna und Radius dargetan habe, sind überaus

[1]) *L. Heck,* Die Säugetiere. Hausschatz des Wissens. Abt. VI. Das Tierreich. Neudamm 1897.

[2]) *H. Klaatsch,* Die Aurignacrasse und ihre Stellung im Stammbaum der Menschheit. Zeitschr. f. Ethnologie. 1910. — Derselbe, Menschenrassen und Menschenaffen. Verhandl. Anthropolog. Kongr. Cöln 1910.

einfach und klar und wer diese Grundlagen meiner Ansicht nicht bestreiten kann, muß sich auch den logischen Konsequenzen aus denselben beugen. Ich verweise nur auf die Krümmungsverhältnisse des Caput humeri, die Form und den Sitz der Tubercula, die Ausbildung des Epicondylus, dann auf die ganze Morphologie des proximalen Ulnaendes und auf die Gestaltung des so auffällig gekrümmten Radius. Viele dieser Tatsachen waren schon von *E. Fischer*[1]) erkannt, aber nicht in den richtigen morphologischen Zusammenhang eingefügt worden. Ich konnte so weit gehen, zu behaupten, daß der Gorilla in diesen Merkmalen sich weiter vom Schimpansen entfernt als vom Neandertalmenschen, wie andrerseits letzterer darin mehr dem Gorilla ähnelt als der anderen fossilen Menschenrasse, die ich die von Aurignac getauft habe.

Vom Handskelett der Neandertalrasse besitzen wir nur wenig Material. Die Stücke, die ich davon gesehen habe, die teils dem Material von Spy in Belgien, teils von Krapina entstammen, sind typisch menschlich, zeigen nur eine etwas kurze und gedrungene Form wie alle Teile der Skelette. Wir dürfen jedenfalls annehmen, daß sich die Neandertalmenschen darin ganz typisch menschlich verhalten.

Hieraus ergibt sich der Schluß, daß auch die gemeinsame Wurzel, die Praegorilloiden = Praeneanderthaloiden in den Proportionen ihres Armes und der Beschaffenheit ihrer Hand sich durchaus menschlich verhielten. Der weitere Schluß ist, daß die Gorillazustände eine einseitige Bahn der Umgestaltung darstellen. Es wird hiermit überaus wahrscheinlich, daß die Vorfahren die Benutzung des Steinmaterials, d. h. eine primitive eolithische Steintechnik besessen haben. Zu demselben Schluß werden wir für die beiden anderen großen Menschenaffen, Schimpanse und Orang, gedrängt. Der Schimpanse zeigt die Rückbildung des Daumens deshalb noch auffälliger, weil die anderen Finger länger und schmäler sind.

Es sind das Unterschiede, wie wir sie auch zwischen menschlichen Individuen antreffen, von denen die einen mehr schmale, andere mehr plumpe und breite Hände besitzen. Die elegante Damenhand ist eigentlich etwas Primitives, das an Australier erinnert.

Für den Schimpanse sind bisher spezielle Verwandtschaftsbeziehungen zu Menschenrassen im Armskelett noch nicht erkannt, wenn ich auch schon jetzt Anzeichen dafür habe, daß unter dem als Afrikaneger zusammengefaßten Material manche sich deutlich dem Gorilla, andere dem Schimpanse nähern, sich gorilloid oder schimpansoid verhalten.

Aber für den Orang haben wir bereits solchen Konnex. Hier konnte ich die Verwandtschaft mit der fossilen Aurignacrasse deutlich nachweisen, aber auch moderne Rassen wie Malaien und Australier als demselben Formenkreise zugehörig erkennen.

---

[1]) *E. Fischer,* Die Variationen von Radius und Ulna beim Menschen. Eine anthropologische Studie. Zeitschr. f. Morphol. u. Anthropol. IX, S. 144—247, 1906.

Dieser Nachweis ist um so wichtiger, als die enorme Umgestaltung der Hand des Orang solche Schlüsse als gewagt erscheinen lassen könnte, hätten wir nicht das andere Tatsachenmaterial.

Die Hand des Orang besitzt einen ganz rudimentären Daumen, während die anderen Finger bedeutend verlängert sind. Um so interessanter ist es, daß der Orang sich im Bau der Handwurzel ein ganz primitives Merkmal bewahrt. Bei allen Orangs — bisher ist mir eine Ausnahme nicht begegnet — bleibt jenes centrale Carpi, das ich oben ausführlich behandelt habe, als ein gesondertes Stück zeitlebens bestehen, während es bei den anderen Menschenaffen mit dem Radiale sich verbindet (s. o.!).

Die Umwandlungen der Oranghand erscheinen daher als nichts Fundamentales, sondern als neueren Datums und damit stimmt auch das Verhalten der Armknochen überein, das noch alle morphologischen Besonderheiten menschlicher Ostrassen (von denen die von Aurignac zur Eiszeit nach Europa gelangte) aufweisen.

Von diesem Gesichtspunkte aus ist es klar, daß die enorme Verlängerung der Arme des Orangs eine ganz sekundäre Erscheinung darstellt, die sich deutlicher als beim Gorilla als eine Anpassung an das Leben auf den Bäumen erweist, wobei das Klettern von Ast zu Ast große Spannweite erfordert. Die Hände sinken herab zu Klammern, denen der Daumen nur noch als Rudiment anhängt. Daß dennoch die Gebrauchsfähigkeit der Hand nicht ganz verloren gegangen ist, konnte ich an einem jugendlichen Orangweibchen beobachten, daß sich in dem Institut Geheimrat *Neissers* auf Java bei Weltevreden befand. Ich sah dieses Geschöpf öfters Cocosnüsse aufmachen. Nachdem es mit den Zähnen die Faserhülle entfernt, nahm das Orangweibchen einen Geröllstein in die Hand und schlug mit sehr wohlgezielten und erfolgreichen Bewegungen auf die Stelle der Narbe ein, um die Milch zu gewinnen (Fig. 153).

Der Prozeß, der die vielseitige Verwendung der Hand allmählich aufhob, ist auch bei den Gibbons eingetreten, ja er hat hier sogar das Extrem in der Verlängerung des Armes herbeigeführt, wobei der Daumen neben den riesig langen Fingern zu einem kleinen Stummel geworden ist. Die Gibbons sind äußerst gewandt im Werfen von Ast zu Ast. Sie fliegen gleich Vögeln durch die Wipfel der Bäume dahin.

Vergleichen wir die Menschenaffen mit den niederen Affen, so tritt uns die auffällige Tatsache entgegen, daß keiner dieser anderen Vertreter der Primaten die Überverlängerung der Arme erkennen läßt.

Es zeigt sich hingegen bei allen eine Art der Gliedmaßenproportion, die der des jugendlichen Menschenzustandes entspricht. Die vorderen und hinteren Extremitäten sind von nahezu gleicher Länge, die hinteren überwiegen nur ein wenig. Dieses Verhältnis ist auch bei den Halbaffen vorhanden und wir dürfen hieraus schließen, daß es der allgemeine Urzustand der Urprimaten war. Hieraus ergibt sich, daß der Mensch direkt an diesen Urzustand anknüpft — die Menschenaffen haben sich davon entfernt.

Wenn man allein die Anthropoiden betrachtet, so scheint sich ein sehr deutlicher Zusammenhang zu ergeben zwischen der Rückbildung des Daumens und der Verlängerung der Arme; zieht man aber die an den Affen mit heran, so versagt dieser Konnex.

Bei allen „Tieraffen“, sowohl denen der neuen, wie der alten Welt ist die Rückbildungstendenz des Daumens unverkennbar, jedoch ist dieser Weg sehr verschieden weit beschritten worden. Extreme der Reduktion treten uns bei weit voneinander entfernten Formen entgegen. Unter den amerikanischen Affen sind es besonders die Ateles, die eine hochgradige

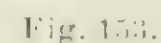


Fig. 153.



Skelett eines Halbaffen, um die menschenähnlichen und zugleich primitiven Proportionen der Gliedmaßen zu zeigen. *Klaatsch* photogr. nach Original im Museum für Naturkunde, Berlin.

Rückbildung des Daumens zeigen, der unter der Haut als Stummel sich birgt. Andrerseits bieten uns die Stummelaffen der alten Welt, die Semnopiheci ein ähnliches Verhalten dar. Andere, wie die Paviane, haben einen leidlichen Daumen behalten und auch die Fähigkeit, damit Gegenstände vom Boden zu erheben.

Die Faktoren dieser Rückbildung kennen wir vorläufig nicht, aber die Erscheinung als solche ist überaus wichtig. Wenn man auf die — tatsächlich mir öfter — vorgelegte Frage, warum denn die Affen keine Menschen geworden seien, sich verpflichtet fühlt, eine Antwort zu geben, so würde dieselbe treffend lauten: „Weil die Affen ihren Daumen verloren haben“ —, das Warum? freilich müßte ohne Antwort bleiben.

Neben dieser einen Umgestaltung haben aber die niederen Affen noch viele andere erfahren, die zeigen, daß sie, die einen früher, die anderen später, von dem gemeinsamen Urzustand abgewichen sind. Die amerikanischen Affen sind dem Menschen ähnlicher geblieben, man könnte sie fast die Anthropoiden der neuen Welt nennen.

Die Menschenaffen der alten Welt zeigen sich mehr und mehr bestimmten Typen fossiler und recenter Menschheit so nahe stehend, daß für ihre Umgestaltungen ein mehrfaches Auftreten anzunehmen ist. Gruppen der gemeinsamen Ahnenform, der Propithecanthropi oder Voraffenmenschen haben sich gespalten in Menschenrassen und Menschenaffen und dieser Vorgang ist wiederholt und unabhängig voneinander in verschiedenen Gegenden eingetreten.

Überblicken wir die Menschheit, so finden wir sie durchweg im Besitz der vollen Greifhand, d. h. eine Reduktion des Daumens ist nirgends festzustellen. Diese Erscheinung ist um so bemerkenswerter, als Unterschiede in Einzelheiten des Skeletts ebenso deutlich sind, wie in der ganzen Gestaltung der Hand. Es sei nur an die stärkere Ausbildung der Schwimmhäute beim Neger (cf. Gorilla) erinnert, aber auch die Morphologie der Handwurzelknochen läßt ganz deutlich Rassenmerkmale erkennen. Ich habe das an Australiern gefunden und *Adacchi* hat für die Japaner solche Besonderheiten festgestellt. Noch viel bedeutender sind die Rassenunterschiede im Armskelett. Man muß daher annehmen, daß bereits innerhalb der Urprimaten deutliche Verschiedenheiten der Arme und Hände bestanden, die aber physiologisch gleichgültig waren.

Alle diese Tatsachen und Überlegungen führen zu einem deutlichen Schluß bezüglich der Rolle, die die Hand bei der Menschwerdung gespielt hat: Da ohne Hand eine Höherentwicklung ausgeschlossen ist, so konnten nur diejenigen höheren Primaten Menschen werden, bei denen die Hand keine Rückbildung erfuhr. Alle Formen hingegen, bei denen aus welchen Gründen auch immer eine Verkürzung des Daumens eintrat, schieden aus dem Begriff Menschheit aus.

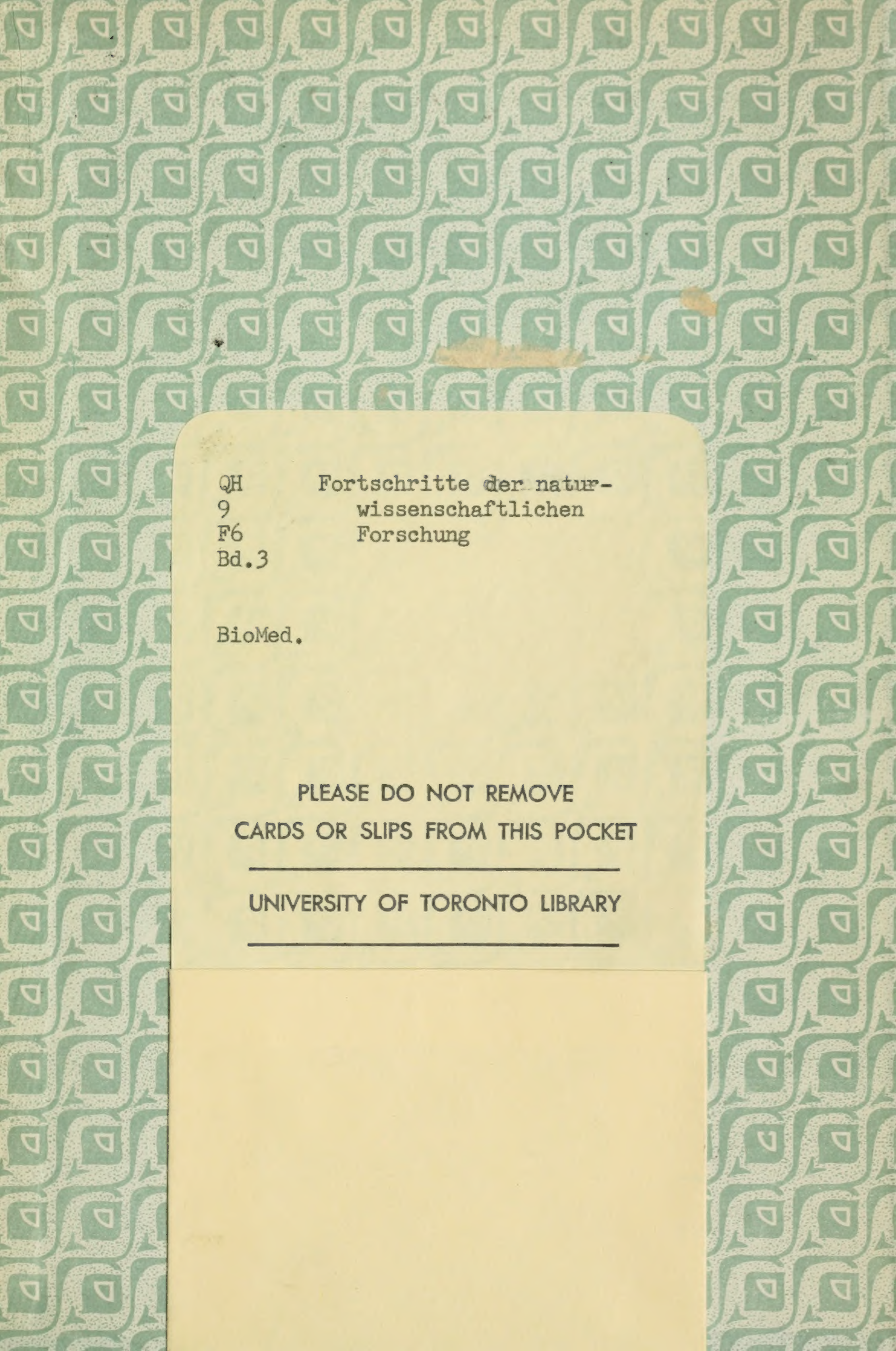
Mensch wurde, was die Hand behielt, Affe, was den Daumen mehr oder weniger einbüßte.

Weder Mensch noch Menschenaffen sind einheitliche Begriffe.

Die neue Bedeutung der Hand in Zusammenhang der spezifisch menschlichen Umgestaltung der anderen Teile des Organismus, besonders des Fußes, soll in späteren Abschnitten behandelt werden und wird uns Gelegenheit geben, manche Eigentümlichkeiten der Hand aufs neue zu beleuchten.

Druck von Gottlieb Gistel & Cie. in Wien.




QH
9
F6
Bd.3
Fortschritte der natur-
wissenschaftlichen
Forschung
BioMed.
PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET
UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY